

Rutinní využití termovize v elektrotechnické praxi

Ing. Mečislav Hudeczek, Ph.D.

Ing. Patrik Sopuch

1. Úvod

V článku jsou popsány základní způsoby měření teploty. Popisujeme, jakými způsoby může docházet k přenosu tepla mezi tělesy a prostředím. Dále řeší problematiku oboru termodiagnostiky, která v současnosti nachází uplatnění v mnoha oblastech jak průmyslových odvětvích, tak i v soukromé sféře. Jedná se o metodu technické diagnostiky, která vyhodnocuje technický stav kontrolovaného objektu. Tato metoda spočívá v měření teploty na povrchu objektu a následným vyhodnocením jeho stavu. Měření probíhá bezdotykově a jedná se o nedestruktivní zkoušku, která je velmi bezpečná a rychlá.

Termografické měření je bezkontaktní měření, vyhodnocující teplotní pole na diagnostikovaném objektu. Pomocí tohoto teplotního pole můžeme snadno zjistit teplejší a chladnější místa na povrchu diagnostikovaného objektu, díky infračervené energii vyzařované z povrchu. Pro zobrazení infračerveného záření používáme infračervenou termografickou kameru, na které je zobrazena teplota povrchu objektu pomocí

Jedním z mnoha oborů, kde se tato metoda používá, je elektrotechnika. Při provozu elektrických zařízení, musí být zajišťovány pravidelné revize a kontroly. Ty mohou být výchozí nebo pravidelné. Slouží k zajištění bezpečného a provozuschopného stavu zařízení. Termografickým měřením můžeme včas diagnostikovat závadu, zvýšit spolehlivost elektrického zařízení, snížit finanční ztráty na provoz zařízení a zabránit případnému vzniku požárů.

2. Teplota a přenos tepla

2.1 Historie měření teploty

Historie prvního teploměru vzniká v roce 1592, kdy italský fyzik Galilea Galilei sestavuje teploměr na principu teplotní roztažnosti vzduchu. Tento teploměr byl málo přesný (na atmosférickém tlaku závislý). Roku 1724 přichází další fyzik Daniel G. Fahrenheit s moderním rtuťovým teploměrem, který je vybaven první teplotní stupnicí. Jednalo se o revoluční měřicí přístroj a od tohoto okamžiku se vývoj teploměrů nezastavil. Roku 1730 francouzský přírodovědec René – Antoine Ferchault de Réaumur vytvořil svojí vlastní stupnici. Dále pak švédský astronom Anders Celsius roku 1742 zavádí svojí stupnicí zvanou Celsiova stupnice. Na řadu přichází britský fyzik lord William Thomson Kelvin, který roku 1848 konečně zavádí termodynamickou stupnici (někdy nazývaná jako Kelvinova stupnice).

Objevitelem infračerveného záření se stal Sir William Herschel a to v prvních letech devatenáctého století. Tento amatérský astronom objevil roku 1781 uran. Při pokusech s hranolem dokázal rozložit světlo na více chromatografických částí. Tyto jednotlivé chromatografické částí – teploty barev měřil teploměrem. Při sledování nárůstu teploty v pásmech od fialové do červené barvy, si všiml neviditelného pásma daleko za červenou barvou, kde byl bod maxima teploty. Tomuto pásmu říkáme infračervené pásmo.

K významnému objevu v oboru termografie došlo v roce 1880 a to badatelem Samuel P. Langley. Vynalezl bolometr, což je zařízení schopné detekovat teplo krávy na vzdálenost 400 m. Roku 1940 Sir John Herschel získal první tepelný obraz, který vznikl díky rozdílnému odpařování malé vrstvy oleje vystavené tepelnému záření. Tento záznam tepelného obrazu na papír nazval „termograf“. Roku 1965 byl firmou AGA představen první volně prodejný termografický systém. K rychlejšímu rozvoji infračervené techniky došlo v průběhu dvou světových válek a stále pokračuje dodnes. [1], [3]



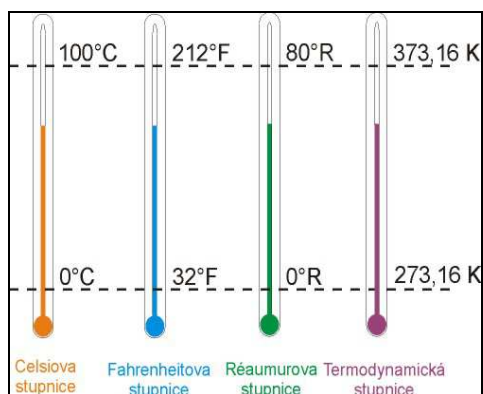
Obr. 2 Sir William Herschel [11]

2.2 Teplota

Jedná se o stavovou veličinu, která určuje stav termodynamické rovnováhy. Stav probíhá v uzavřené soustavě těles a není závislý na čase. Tento stav termodynamické rovnováhy bývá charakterizován termodynamickou teplotou, která je stejná pro všechny části uzavřené soustavy. Teplo je forma energie související s pohybem částic dané soustavy těles, proto nesmíme zaměňovat tuto fyzikální veličinu za fyzikální veličinu teplota. Teplo není stavovou veličinou, protože nezávisí na přítomném stavu soustavy, ale na celé minulosti soustavy. Teplota je fyzikální veličina, která se nedá měřit přímo, ale jen prostřednictvím jiné fyzikální veličiny.

Důležitá je také termodynamická teplotní stupnice, která je definovaná na základě účinnosti vratného Carnotova cyklu. Základní jednotkou termodynamické stupnice je kelvin (K). Ten má počátek v absolutní nule. Tato základní jednotka kelvin byla definována zvolením termodynamické teploty trojného bodu vody jako referenční bod termodynamické stupnice. Referenční bod má pevně určenou hodnotu a to $T = 273,16$ K. Základní jednotka kelvin je $273,16$ díl termodynamické teploty trojného bodu vody.

Existují další teplotní stupnice a to Fahrenheitova a Rankinova. Ovšem často používanou je stupnice Celsiova. Je odvozena od základní stupnice posunutím o teplotu $273,15$ K. Jednotka této stupnice se nazývá stupeň Celsia ($^{\circ}\text{C}$). [1], [3]



Obr. 3 Čtyři typy teplotních stupnic [12]

2.3 Měření teploty

Měření teploty je velice důležité v oboru technické diagnostiky. Jedná se o diagnostický signál, který nám může signalizovat možné poškození či závadu elektrických obvodů nebo stroje. Jestliže se kontrolované zařízení nadměrně přehřívá v kontrolovaném místě.

Teplota jakož to fyzikální veličina se dá měřit různými metodami a prostředky. Abychom mohli teplotu změřit, měříme ji přes jiné fyzikální veličiny, které jsou na teplotě závislé. Měření teploty u diagnostikovaných zařízení, můžeme provádět za provozu a to dotykově pomocí umístěných snímačů teploty a teploměrů, nebo bezdotykově pomocí pyrometrů a infračervené termografické kamery. Pro zajištění přesného měření teploty u kontrolovaného strojního zařízení, je nutné zajistit dokonalý přestup tepla mezi měřeným prostředím a snímačem teploty. Měřící snímače teploty by měli být umístěny tak, aby byla snadná jejich montáž či demontáž. Stav celé měřící soustavy musí být v naprosto bezvadném stavu, aby byla zajištěna přesnost měření.

2.3.1 Kontaktní měření teploty

Při dotykovém měření teploty je uvedeno těleso, u kterého chceme znát teplotu do vzájemného dotyku se srovnávacím tělesem. Jakmile jsou tyto dvě tělesa ve vzájemném styku, dochází k tepelné rovnováze těchto těles. Srovnávacímu tělesu říkáme teploměr. Teploměry dělíme dle fyzikálních principů, na kterých jsou založeny.

Rozdělení teploměrů

- **Odporové teploměry** – teploměr využívá změnu elektrického odporu vodiče, který je závislý na teplotě.
- **Termoelektrické teploměry** – Jsou založeny na vzniku termoelektrického napětí. Někdy nazýván jako termoelektrický článek.
- **Polovodičové teploměry** – Jsou založeny na principu změny vlastnosti polovodiče se změnou teploty.

- **Dilatační teploměry** – Jsou založeny na principu tepelné roztažnosti kapalin, plynů a tuhých látek.
- **Parní teploměry** – Jsou založeny na principu změny tlaku syté páry, jejich naplní je helium.



Obr. 4 Dotykový teploměr [2]

V oboru termodiagnostika se můžeme setkat s dotykovými měřidly v podobě termokříd a termokolorů.

- **Termokřídly** – Jedná se o speciální křídlo, která se při aplikaci v podobě značky na měřený materiál, při udané nebo vyšší teplotě roztaví. Využívá se pro rychlé a snadné měření povrchové teploty předmětů.



Obr. 5 Termokřída [2]

- **Termokolory** – Jedná se o barvy, které jsou citlivé na změnu teploty. Využívají se pro snadnou a rychlou aplikaci. Dle přeměny barev těchto termokolorů můžeme odhadnout teplotu měřeného předmětu.

2.3.2 Bezkontaktní měření teploty

Při bezdotykovém měření teploty se využívá elektromagnetického záření těles. Elektromagnetické záření vyzařují všechna tělesa, která mají vyšší teplotu, než je absolutní nula. Měřené elektromagnetické záření může být v různých vlnových délkách. Bezkontaktní měření teploty rozdělujeme na tři způsoby:

- **Fotometrie** – Při fotometrii se využívá fotoaparátu, který má vysokou světelnost a je schopen zachytit infračervené záření.
- **Pyrometry** – Teplota je měřena bodově. Z teplotního záření tělesa je určena teplota tělesa.
- **Termografie** – Zobrazovací metoda použita při termografické diagnostice. K měření teploty objektu využívá neviditelné infračervené záření. Její tvar je podobný videokameře a na barevném zobrazovači zobrazuje povrchovou teplotu předmětu v reálném čase.

Výhody bezkontaktního měření teploty

- Rychlé měření teploty.
- Bezpečné měření elektrotechnických obvodů bez rozdílů napětí.
- Měření vysokých teplot.
- Snímání teploty v reálném čase.
- Měření rotujících a pohyblivých předmětů.
- Snadné měření bez nutnosti montáže.
- Bezpečné měření.

Nevýhody bezkontaktního měření teploty

- Nutnost přesného nastavení emisivity.
- Vnější vlivy ovlivňující přesnost měření.
- Teplota okolí ovlivňující teplotu měřeného objektu.

2.4 Přenos tepla

Přenos tepla je velmi složitý děj, který někdy také nazýváme jako sdílení tepla. Přenos tepelné energie můžeme rozčlenit do třech tepelných procesů výměn. Tyto výměny mohou probíhat zvlášť, nebo zároveň. Jedná se o tepelnou výměnu vedením (kondukcí), tepelnou výměnu prouděním (konvekci) a výměnu sáláním (radiací). Pro termografickou diagnostiku využijeme nejvíce výměnu tepelné energie sáláním (radiací), ale rozepíšeme je zde všechny tři:

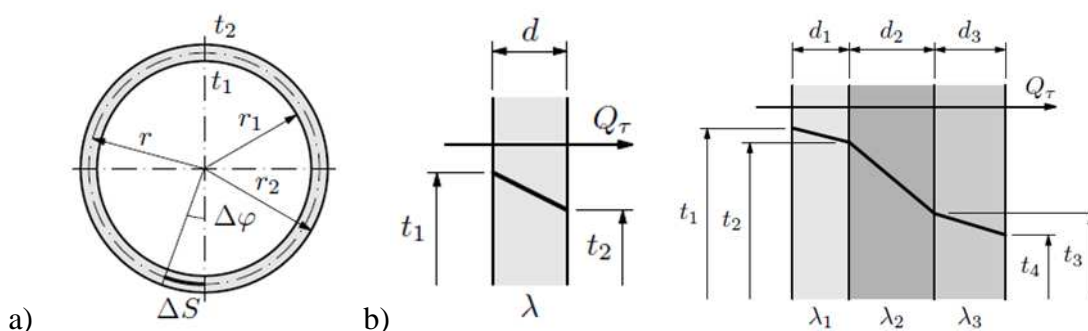
Přenos tepla vedením – Jedná se o způsob vedení tepelné energie, který probíhá většinou u pevných těles. K přenosu dochází z teplejšího tělesa na těleso s nižší teplotou. V plynech a kapalinách se k tomuto vedení tepla mohou připojovat i šíření tepla prouděním a u látek jako je například sklo také šíření tepla sáláním. Velikost tepelného toku Q_T procházejícím plochou S povrchu v homogenní prostředí vypočteme pomocí, Fourierova zákona:

$$Q_T = \frac{\lambda}{d} (t_1 - t_2) S = \frac{\lambda S \Delta t}{d} \quad (1)$$

Kde λ označuje součinitel tepelné vodivosti materiálu desky. Jednotka λ je $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Řešíme nejčastěji tyto příklady:

- o Vedení tepla jednoduchou stěnou.
- o Vedení tepla složenou rovinnou stěnou.
- o Prostup tepla válcovou stěnou.

- Q_T Tepelný tok (W)
 d Šířka stěny (m)
 t Teploty stěny (K)
 S Plocha povrchu (m²)
 λ Součinitel tepelné vodivosti ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
 r_1 Vnitřní poloměr (m)
 r_2 Vnější poloměr (m)

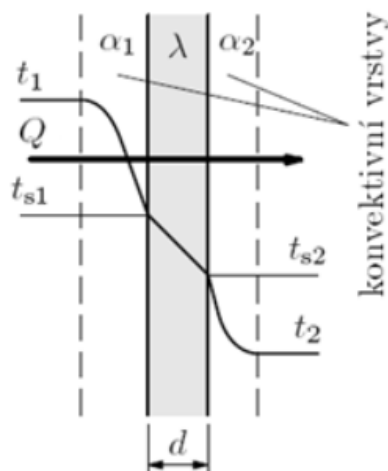


Obr. 6 a) prostup tepla válcovou stěnou, b) vedení tepla jednoduchou a složenou rovinnou stěnou. [4]

Přenos tepla prouděním – K šíření tepla prouděním dochází jen v plynném a kapalném prostředí. V prostředí pevných látek není přenos tepla prouděním možný a teplo se šíří vedením. V praktickém životě se setkáváme s prouděním ve volné atmosféře, nebo při tepelném obtékání těles. Ke sdílení tepla může docházet také například při styku plynu nebo kapaliny s pevnou stěnou. Teorie přenosu prouděním tepla je velmi složitá a proto se v praxi popisuje experimentálně. Rovnice, která vyjadřuje tepelný tok při sdílení tepla prouděním, je daná vztahem:

$$Q = \alpha S \Delta T \quad (2)$$

Stěna (λ) se nachází mezi dvěma prostředími a to (α_1) a (α_2). Při přenosu tepla prouděním se z plynného prostředí (α_1) sdílí teplo prouděním do stěny (λ) ve stěně teplo přechází vedením a mezi stěnou (λ) a prostředím (α_2) zase dochází k šíření tepla prouděním.



Obr. 7 Sdílení tepla prouděním [4]

Přenos tepla zářením – každé těleso, které má vyšší teplotu než je absolutní nula, vyzařuje do prostoru tepelnou energii v podobě elektromagnetického záření. Každé takové těleso může tuto tepelnou energii absorbovat, nebo vyzařovat. Když těleso přijme energii vyzařovanou od jiného tělesa, zahřívá se. Když více energie těleso vyzařuje, než přijme od jiného, ochlazuje se. Tento způsob přenosu tepelné energii zářením, se vyznačuje možností přenášet tuto energii i v prostoru jako je vakuum. Na barvě a jakosti povrchu nejvíce závisí velikost odrazivosti a pohltivosti záření měřených těles. Jestliže dopadá na těleso tepelné záření, určitou část energie tělesem projde, část se odrazí a zbytek je tělesem pohlceno. [1]

Také platí, že součet pohltivosti, odrazivosti a propustnosti je roven jedné.

- o **Pohltivost** = Poměr energie tělesem pohlcené k energii na těleso dopadající.
- o **Odrzivost** = Poměr energie odražené tělesem k energii na těleso dopadající.
- o **Propustnost** = Poměr mezi energií prošlou tělesem k energii na těleso dopadající.

Absolutně černý povrch, který pohltí veškerou energii

Pohltivost = 1, odrazivost a propustnost = 0

Absolutně bílý povrch, který veškerou energii odrazí

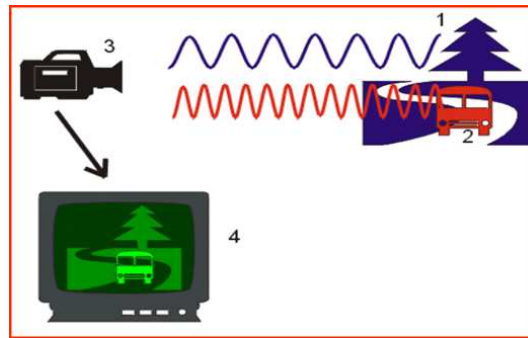
Odrzivost = 1, propustnost a odrazivost = 0

Absolutně průzračné těleso, které veškerou energii propustí

Propustnost = 1, pohltivost a odrazivost = 0

3. Základy termografie

Princip termografie spočívá v měření částí elektromagnetického spektra. Elektromagnetické spektrum bývá rozděleno do několika vlnových pásem.

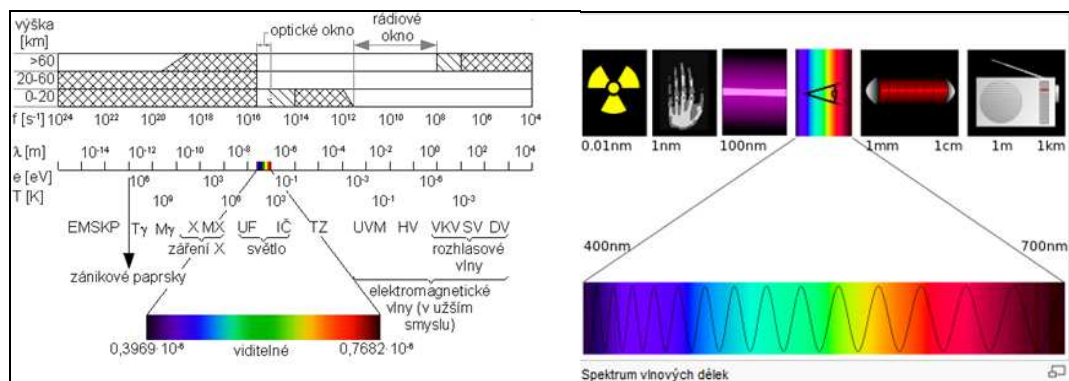


Obr. 8 Snímání v infračerveném pásmu [6]

Vlnová délka, která se značí λ (lambda) je základní charakteristikou elektromagnetického vlnění. Měří se, ve vhodných délkových jednotkách jako je nanometr 10^{-9} m. Frekvence je analogická veličina, která nám říká, jak často vlna kmitne během jedné sekundy. Dalším parametrem je vlnová délka udávající vzdálenost dvou hřbetů vln.

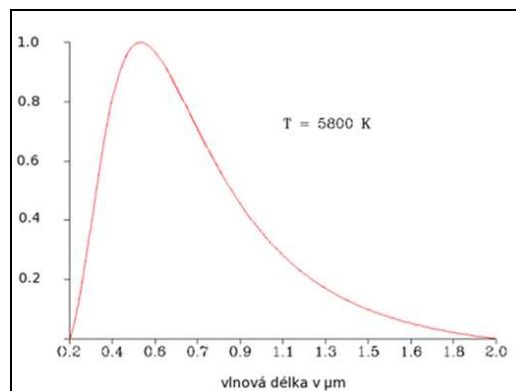
Po zjištění intenzity a rozřídění vlnových délek, které jsou vydávány určitým zdrojem, dostaneme elektromagnetické spektrum (obr 9). Elektromagnetické spektrum obsahuje všechny vlnové délky. Oblast vlnových délek od 380 nm po 750 nm vnímáme jako světlo.

Elektromagnetické spektrum obsahuje všechny druhy elektromagnetického záření, jako jsou: mikrovlny, gama záření, rentgenové záření, UV záření, infračervené záření, rádiové vlny a viditelná část spektra. Infračervené pásmo, které využíváme při termografickém měření, se dělí do čtyř pásem: blízké, střední, vzdálené, a velmi vzdálené. Měřicí systémy rozdělujeme ještě na dlouhovlnné (5 – 15 μ m) a krátkovlnné (2 – 3 μ m).



Obr. 9 Elektromagnetické spektrum [6]

Díky elektromagnetickému spektru, bylo objeveno ultrafialové a infračervené záření. Toto záření má menší energii než světlo a ultrafialové naopak větší (obr. 9). Křivka na obrázku (obr. 10) platí pro vyzařování černého tělesa. Stefan – Boltzmannovým zákonem je dána celková energie vyzařována černým tělesem. [6]



Obr. 10 Křivka vlnové délky [6]

3.1 Termíny a definice

Tyto termíny a definice jsou uvedené z normy ČSN ISO 18434-1. [9]

Zdánlivá teplota – Nekompenzované údaje infračervené termografické kamery obsahující veškeré dopadající záření na detektor přístroje a to bez ohledu na zdroj záření.

Útlumové prvky – Atmosféry, filtry, okna, přídavná optika, ostatní prvky nebo materiály a media, které utlumují infračervené záření objektů.

Černé těleso – Ideální zdroj a pohlcovač zářivé infračervené tepelné energie všech vlnových délek (poznámka: ideální černé těleso je popsáno pomocí Planckovým zákonem).

Emisivita – Značí se písmenem ε . Je to poměr energie vyzařované z povrchu objektu k vyzařované energii černého tělesa se stejnou teplotou jako má objekt a v tom samém spektrálním intervalu.

Infračervená termografická kamera (IČT kamera) – Měřicí přístroj snímající z povrchu tělesa infračervenou energii. Tuto energii dále prezentuje jako barevný nebo černobílý obraz a barevné odstíny nebo šedi odpovídají rozložení zdánlivých teplot na povrchu objektu (poznámka: někdy tyto obrazy nazýváme termogramy).

Zpracování obrazu – Převedení pořízeného obrazu do digitální formy a následná úprava obrazu pro vizuální analýzu nebo počítačové zpracování. (poznámka: zpracovaný termogram nebo infračervený obraz může obsahovat měření teplot v bodech, stupnici teploty, úpravu obrazu, profily teplot, pořízena data a odečty hodnot).

Infračervený (IČ) – Jedná se o část elektromagnetického červeného spektra viditelných vlnových délek od 0,75 μm do 1 000 μm (poznámka: většina měření se provádí v infračervené oblasti spektra ve vlnových délkách od 0,75 μm do 15 μm a to vzhledem ke konstrukci přístroje a spektrální propustnosti atmosféry).

Izoterma – Je to funkce vložená do obrazu přístroje, která zvýrazní místa se stejnou zdánlivou teplotou.

Infračervená termografie (IČT) – Prostřednictvím bezkontaktního zařízení pro zobrazování teplot získáváme rozbor „teplotních informací“.

Záření, tepelné – Způsob šíření tepla pohlcováním a vyzařováním elektromagnetického záření, probíhajícího v rychlosti světla (poznámka: Na rozdíl od proudění a šířením tepla vedením se může šířit i ve vakuu. Protože se přenos infračervené energie z objektu na detektor uskutečňuje zářením, dovoluje tento způsob přenosu tepla využít infračervenou termografii).

Odráživost – Poměr odražené zářivé energie od povrchu objektu k celkové zářivé energii dopadající na povrch tohoto objektu (poznámka: $\rho = 1 - \varepsilon - \tau$, ideální zrcadlo má odrazivost rovnou 1,0; absolutní černé těleso pak $\rho = 0$). Odráživost je poměr intenzity celkového záření dopadajícího na povrch k intenzitě odraženého záření; reflektance/činitel odrazu je poměr dopadajícího toku k odraženému toku. Tyto oba termíny se mohou používat zaměnitelně v termografii).

Odražená zdánlivá teplota – Tato zdánlivá teplota jiných objektů se odráží od povrchu měřeného objektu směrem do termografické kamery (poznámka: značí se $T_{\text{odr}} - \text{Trefl}$).

Opakovatelnost – Je to schopnost přístroje zopakovat přesně měření nepohyblivého objektu v dlouhém nebo krátkém intervalu času (poznámka: vyjádření opakovatelnosti se udává v \pm procent nebo stupňů z celé stupnice).

Zpracování signálu – Signál teploty nebo data obrazu se zpracovávají pro účely řízení procesu nebo zvýraznění (příklady: U kamer, skenerů a rozbočovačů je to izoterma, seřízení, průměrování obrazu, filtrace obrazu a odečty. U infračervených bezkontaktních teploměrů to je minimální zaznamenaná a maximální zaznamenaná hodnota, průměrná hodnota a zaznamenaný vzorek.

Prostorové rozlišení přístroje – Vzhledem k pracovní vzdálenosti se jedná o velikost měřeného bodu (poznámka: u infračervených bezkontaktních teploměrů je tato hodnota uváděna v miliradiánech nebo jako poměr pracovní vzdálenosti k velikosti měřícího bodu. U kamer, skenerů a zobrazovačů je tato hodnota většinou vyjádřena v miliradiánech).

Měřený objekt – Jedná se o povrch měřeného objektu.

Termogram – Obraz objektu nebo teplotní mapa, ve kterém je pomocí barevného zobrazení nebo šedého tónování vyjádřeno rozložení infračervené vyzařované energie z povrchu měřeného objektu.

Propustnost (transmittance) – Značíme ji písmenem τ . Část infračervené zářivé energie dopadající na povrch měřeného objektu v určitém spektrálním intervalu, tato zářivá energie objektem prostupuje (poznámka: $\tau = 1 - \varepsilon - \rho$).

Kde je:

τ - propustnost

ε – emisivita

ρ – odrazivost

Poznámka: pro absolutní černé těleso $\tau = 0$. Ta část záření dopadajícího na objekt, která objektem prostoupí, nazýváme propustnost.

Pracovní vzdálenost – vzdálenost od měřicího přístroje (vstupní optika) po měřený objekt.

3.2 Záření reálných těles

Každé těleso svým povrchem v čase vyzařuje energii a tento jev nazýváme zářivý tok. Jestliže těleso vyzařuje tuto energii, sníží se teplota tělesa. Aby došlo k termodynamické rovnováze, musí být teplota tělesa stejná, jako je teplota okolí a ztracená energie tělesa musí být dodána tepelným zářením z vnějšku. [1]

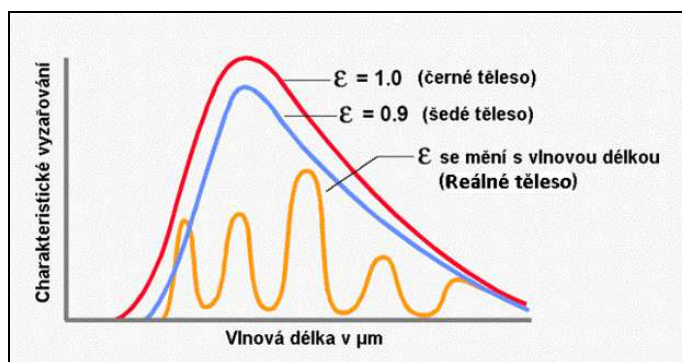
Tři základní radiační zdroje:

(Absolutní) černé těleso – Ideální zdroj a pohlcovač zářivé infračervené tepelné energie všech vlnových délek (poznámka: ideální černé těleso je popsáno pomocí Planckovým zákonem). (Absolutní) černé těleso má hodnotu emisivity $\varepsilon = 1$. Pro (absolutně) černé těleso platí tyto zákony:

- **Stefan – Boltzmannův zákon** – Vyjadřuje vztah mezi celkovou hustotou zářivého toku a absolutní teplotou absolutně černého tělesa.
- **Wienův zákon** – Vyjadřuje vztah mezi vlnovou délkou záření a teplotou absolutně černého tělesa.
- **Planckův zákon** – Vyjadřuje rozložení emitované energie pro danou teplotu černého tělesa jako funkci vlnové délky tepelného záření.

Šedé těleso – Nedokonalý zářič, který má emisivitu ε vyšší než 0 a nižší než 1.

Reálná tělesa (selektivní zářič) – zdroj záření, jehož vlastnosti jsou stejné u většiny těles a spektrální hustota vyzařování závisí na vlnové délce záření.



Obr. 11 Intenzita vyzařování různých těles [1]

3.3 Kompenzační parametry při měření

3.3.1 Emisivita

Značí se písmenem ε . Je to poměr energie vyzařované z povrchu objektu k vyzařované energii černého tělesa se stejnou teplotou jako má objekt a v tom samém spektrálním intervalu. Emisivita je velmi důležitým parametrem při měření termografickou metodou. Abychom provedli měření pomocí infračervené termografické kamery správně, je důležité nastavit tuto emisivitu vhodně dle prostředí a materiálu měřeného objektu (tab. 1). Pro určení hodnoty emisivity může

sloužit tabulka materiálu s předepsanou emisivitou. Tyto hodnoty jsou pouze informativní a mnohdy emisivitu určíme dvěma způsoby:

- Pomocí kontaktního měření teploty. Teplota měřeného objektu je závislá na emisivitě.
- Pomocí porovnání s referenčním povrchem (referenční nálepka), u kterého známe emisivitu.

Hodnota emisivity reálných těles je závislá:

- Na struktuře materiálu měřeného objektu.
- Na teplotě povrchu měřeného objektu.
- Na vlnové délce.
- Na směrových podmínkách.
- Na materiálu měřeného objektu.

Tab. 1 hodnot emisivity pro různé materiály [2]

Materiál	Emisivita
Azbestová deska	0,96
Beton neopracovaný	0,97
Cihla, červená normální	0,93
Cihla, šamot	0,85
Omítnutá zeď	0,95
Dřevo	0,98
Hliníková folie	0,04
Měď, leštěná	0,02
Měď, oxidovaná	0,60

3.3.2 Vliv teploty okolí

Parametr vliv teploty okolí využíváme pro kompenzaci radiace, která je odražená od měřeného objektu a radiace atmosféry mezi infračervenou termografickou kamerou a měřeným objektem. Jestliže je vzdálenost od měřeného objektu vysoká a emisivita nízká a teplota měřeného objektu blízká teplotě okolí, musíme nastavit přesně hodnotu teploty okolí pro kompenzaci jejího vlivu na výslednou teplotu.

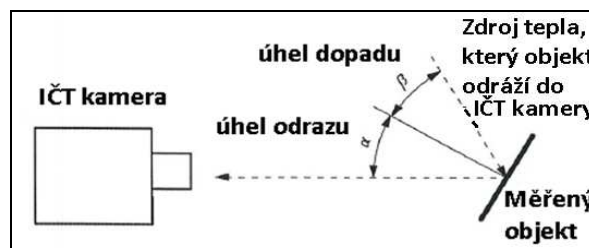
Vliv teploty okolí můžeme určit dvěma metodami:

- Metoda odrazu

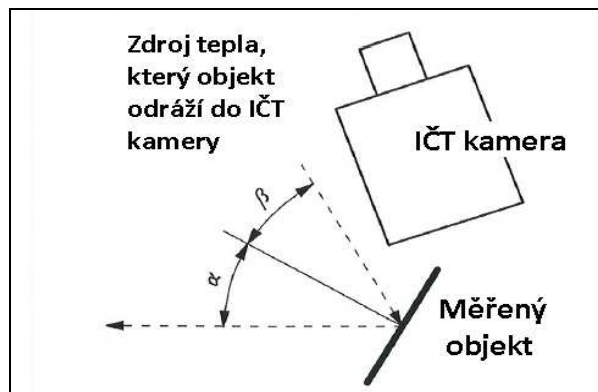


Obr. 12 Metoda odrazu [9]

- Metoda přímá



Obr. 13 Metoda přímá krok 1 [9]



Obr. 14 Metoda přímá krok 2 [9]

3.3.3 Atmosféra

Jestliže provádíme měření objektu ve venkovním prostředí, může nám toto měření ovlivňovat vliv slunečního záření odrážejícího se od objektu do infračervené termografické kamery. Moderní infračervené termografické kamery mají zabudovaný filtr, který odražené sluneční záření potlačí. Dalším důležitým doporučením je neprovádět termografické měření za sněžení, mlhy a deště. Tyto podmínky výrazně snižují přesnost měření.

3.4 Způsoby termografického měření

Srovnávací termografii rozdělujeme na dva způsoby termografického měření:

Kvantitativní srovnávací termografie – Při této metodě, se měří hodnoty teplot měřeného objektu, které jsou následně použity pro určení závažnosti stavu objektu. Hodnoty teplot se porovnávají s teploty podobného objektu, nebo se základními daty. Věrohodnými údaji pro objekty s vysokou emisivitou povrchu jsou často teploty a rozdíly teplot. Často nespolehlivé údaje pro objekty s nízkou emisivitou materiálu jsou teploty a rozdíly teplot z důvodu chyb způsobenými změnami v okolí prostředí. V praxi je však mnoho aplikací, kde je vhodné využívat pro monitorování a diagnostiku zařízení kvantitativní srovnávací metodu měření.

Kvalitativní srovnávací termografie – Tato metoda porovnává termogram měřeného objektu s termogramem stejného nebo podobného objektu za stejných nebo podobných podmínek. U těchto termogramu je vyhodnocována intenzita změn mezi dvěma nebo více objekty a to bez přiřazování hodnot teploty k termogramu. Metoda je velice snadná a rychlá. Nevyžaduje žádné korekční činitele pro emisivitu povrchu, vlivy okolí a atmosféru. Výsledek měření může určit závalu objektu, ale neposkytne úroveň její závažnosti. [1]

3.5 Metody termografie

Metody termografie rozdělujeme:

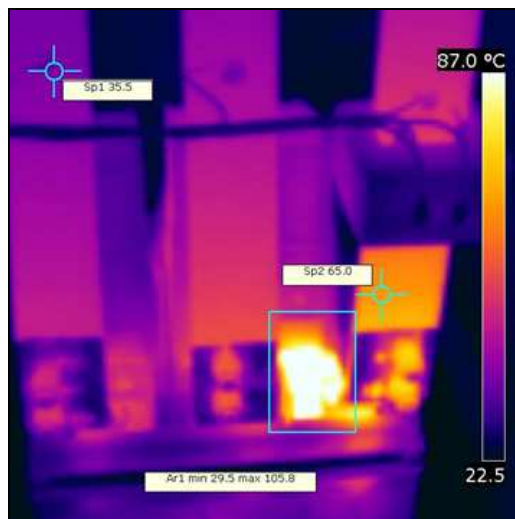
Pasivní termografie – Využívá se při zobrazování teplotních polí na povrchu měřeného objektu. Pomocí infračervené termografické kamery se pasivně snímá energie vyzařovaná z objektu a následně se vyhodnocuje. Pasivní termografie se nejčastěji využívá k monitorování objektu v rámci preventivní údržby.

Aktivní termografie – Tato metoda je založena na řízené stimulaci vlny v měřeném tělese, díky snímání rozložené teploty infračervenou termografickou kamerou na povrchu tělesa a analýzu signálu. V povrchové vrstvě tělesa se projeví defekty diferencemi v rozložení povrchové teploty. Ve vnitřní části tělesa je umístěn zdroj tepla, aby aktivoval tepelné záření tělesa. Zdroj tepla uvnitř tělesa může být v podobě: pulzního laseru, halogenové lampy, výkonového blesku, teplého proudícího vzduchu, xenonové výbojky. Vybuzení tepelné stimulace může proběhnout také vnitřním třením struktury tělesa prostupující ultrazvukovou vlnou. Stimulaci vybuzenou z externí cívky indukovanými vířivými proudy lze vybudit u elektrických vodových objektů. [1]

4. Termografická diagnostika

Nedestruktivní metoda technické diagnostiky, umožňuje zobrazení infračerveného záření diagnostikovaného tělesa. Záření následně prezentuje jako teplotu rozloženou na povrchu tělesa. Za pomocí infračervené termografické kamery zaznamenáváme tento obraz (termogram) a umožní nám zobrazit teplotu v každém bodě obrazu. Díky termografickému měření objektu jsme schopni ihned rozeznat a detekovat poruchu, například zda se teplota dvou stejných těles

liší. Práce s infračervenou termografickou kamerou je podobná jako s klasickým fotoaparátem, ale musíme si dát pozor na parametry ovlivňující přesnost měření. Důležitým parametrem je emisivita měřeného objektu, kterou musíme určit, nebo jí předem znát. Emisivitu nastavíme pomocí teploty měřeného objektu, nebo lepicích pásek na úpravu emisivity. Existuje také možnost nastavení hodnoty dle tabulky emisivity pro různé materiály, ale tyto hodnoty jsou jen orientační. Dalším parametrem ovlivňující měření je zdánlivá odražená teplota, což je tepelné ovlivňování dvou sousedících těles. Důležitá je také velikost zobrazeného bodu, tento parametr závisí na použité optice přístroje, vzdálenosti tělesa k infračervené termografické kameře a rozlišení detektoru.



Obr. 15 Termografická diagnostika při porovnání teplot stejných objektů. [1]

4.1 Historie infračervených termografických kamer

Pomocí infračervené termografické kamery, jsme schopni zachycovat infračervené záření objektu bez nutnosti přímého kontaktu s ním. Od roku 1916 do 1918 experimentoval vynálezce Theodore Case s fotografickým detektorem k získání signálu skrze působení fotonů na místo tepelného záření. Díky této technice byl vynalezen citlivější a rychlejší fotodetektor. Technologie pro zobrazování tepelného záření se začala rozvíjet během 40. a 50. let 20. století a to hlavně kvůli vojenským aplikacím.

První volně prodejné infračervené termografické kamery byly k dostání v obchodech od 60. let. Kamery byly ovšem pomalé dost velké a s malým rozlišením. Využití našly v elektrotechnice při kontrole distribučních systémů a rozvaděčů. V 70. letech dochází k mnohým vylepšením přístroje a objevuje se první přenosná infračervená termografická kamera, která našla uplatnění v nedestruktivním testování materiálu a diagnostice oteplení budov.

Kvalita snímku byla velmi špatná ve srovnání s dnešními přístroji. Začátkem 80. let se infračervené termografické kamery využívaly v medicíně, tepelné kontrole budov a v pasové výrobě. Později byly vynalezeny levnější infračervené termografické kamery na principu pyroelektrického vidikonu (PEV). Tato technologie sice nebyla radiometrická, ale kamery byly skladné, přenosné a plně provozuschopné. Na konci 80. let byla armádou uvolněna technologie pod názvem ohniskový svazkový detektor. Jednalo se o čidlo, které obsahovalo v ohniskové vzdálenosti optické čočky čidlo obsahující svazek infračervených detektorů. To vedlo ke zvýšení prostorového rozlišení a lepší kvalitě snímku. [5]



Obr. 16 Použití infračervené termografické kamery [5]

4.2 Popis infračervené termografické kamery

Princip funkce infračervené termografické kamery

Do infračervené termografické kamery přes optiku vstupuje infračervené záření od měřeného objektu, které dopadá na detektor a ten mění svůj odpor či napětí. Na tuto změnu reaguje elektronika infračervené termografické kamery a vytváří obraz (termogram). Na tomto obrazu odstíny barvy odpovídají vlnovým délkám infračerveného záření snímaného objektu.



Obr. 17 Použití infračervené termografické kamery [5]

Infračervená termografická kamera obsahuje několik základních částí: čočky – optiky, display, detektor s vyhodnocovací elektronikou (obr. 18).

Čočky – optika

Čočky jsou umístěny v přední části infračervené termografické kamery a slouží k přesnému soustředění infračerveného záření na detektor uvnitř kamery. Čočky jsou obvykle vyrobeny z germania (Ge). Pro zlepšení přenosu záření je čočka vybavena antireflexní vrstvou.

Display infračervené termografické kamery

Display je umístěn na zadní části kamery a slouží k zobrazení tepelného obrazu (termogram). Většinou se jedná o technologii LCD a musí být dostatečně velký a podsvícený. Informuje o stavu přístroje a zobrazuje veškeré potřebné informace (baterie atd.).

Detektor s vyhodnocovací elektronikou

Detektor převádí infračervenou energii, která skrz čočky vstupuje do infračervené termografické kamery na elektronicky měřitelný údaj. Tento údaj je dále zpracováván elektronikou kamery a následně zobrazen na display jako termogram. [5]



Obr. 18 Popis infračervené termografické kamery [5]

4.3 Odhalování závad termograficky

Abychom mohli správně detekovat závadu na objektu, je nutné mít základní znalosti o možných abnormálních projevech částí objektu. Například při diagnostice elektrického zařízení, toto musí být proudově zatíženo. Na elektrickém stykači, který není zatížen, nelze diagnostikovat závadu. Jen když stykačem proteče proud, může být závada zobrazena teplejším místem na termogramu. To platí i například u vypínačů VN, NN, elektromotorů a jiných strojních zařízení, která musí být v provozu a určitým procentem výkonu zatížena.

4.3.1 Pravidelná údržba

Jedná se o plánované úkony, sloužící k dlouhodobému udržení efektivity operačního procesu. Vede k minimalizaci selhání zařízení a zvyšuje bezpečnost práce na nich. Samozřejmě že se tato plánovaná údržba projeví v minimalizaci úrazů při práci, prodlouží se životnost strojů alepší se efektivita výroby. Pomocí termografického měření a termogramu můžeme stanovit rozsah oprav či výměny částí strojů pro zajištění spolehlivosti. Díky termografické diagnostice můžeme včas odhalovat nadměrné zahřívání stroje snadno a rychle.

4.3.2 Prediktivní údržba

Provádí se u strojů a zařízení, která jsou klíčová a nákladná. Údržba spočívá v plánovaném monitorování stavu opotřebení stroje oproti povoleným mezím a následné predikci možných závad. Vyžaduje investici do zařízení pro monitorování stavu stroje a školení pracovníků. Díky této údržbě můžeme omezit plánovanou kontrolu. K monitorování a zjištění provozuschopnosti stroje se využívá termografická diagnostika. Termografická prohlídka se provádí například při převzetí nového stroje a jeho instalace. Můžeme tak ověřit dodržení předepsaných parametrů výrobcem, nebo pro porovnání stavu k další prohlídce stroje. Termogram nám může znázornit, zda byla instalace stroje provedena správně, či nikoliv. Po uvedení zařízení do provozu, může být tato závada diagnostikována a následně odstraněna rovnou po instalaci. [5]

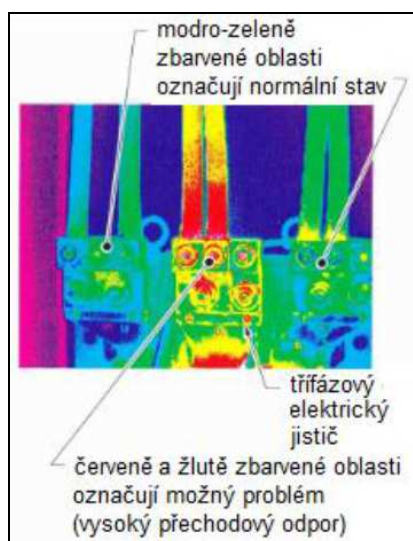
4.4 Inspekční metody

Používají se tři základní metody kontroly infračervenou termografickou kamerou. Jsou to tyto metody: porovnávací termografie, výchozí termografie a směrníková. Je důležité, aby byla použita správná metoda pro určitou aplikaci pro zajištění účinnosti kontroly.

4.4.1 Porovnávací termografie

Metoda, při které porovnáme termogram diagnostikovaného zařízení s termogramem dalšího shodného zařízení, které má správné hodnoty za stejných podmínek. Pokud dodržíme všechny podmínky porovnávací termografie, upozorujeme rozdíl ve stavu zařízení. Doporučuje se určit požadované tolerance stavu zařízení a během diagnostiky v nich zůstat. Při porovnávání shodných zařízení je mnohdy jednoduché odhalit závadu, ale vyžaduje to zkušenosti a pozornost

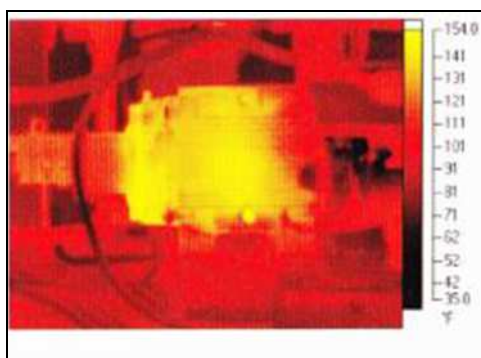
technika. U této metody musí být splněna podmínka, aby zařízení bylo vždy stejně proudově zatíženo. V opačném případě musí být k tomuto přihlédnuto.



Obr. 19 Diagnostikování závady pomocí porovnávací termografie [5]

4.4.2 Výchozí termografie

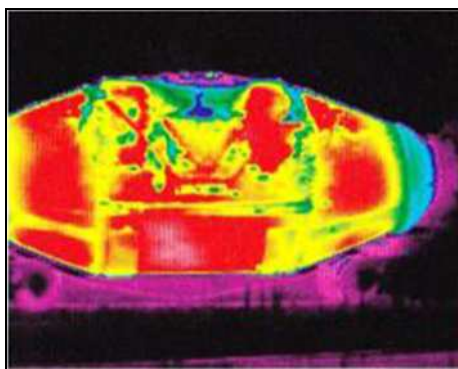
Její podstata spočívá v určení referenčního stavu objektu, který se určí za normálních podmínek a při optimálním pracovním režimu. Objekt se nasnímá pomocí infračervené termografické kamery jako termogram a ten je v později použit k porovnání s budoucími termogramy objektu.



Obr. 20 Výchozí termografie – elektrický obvod [5]

4.4.3 Směrníková termografie

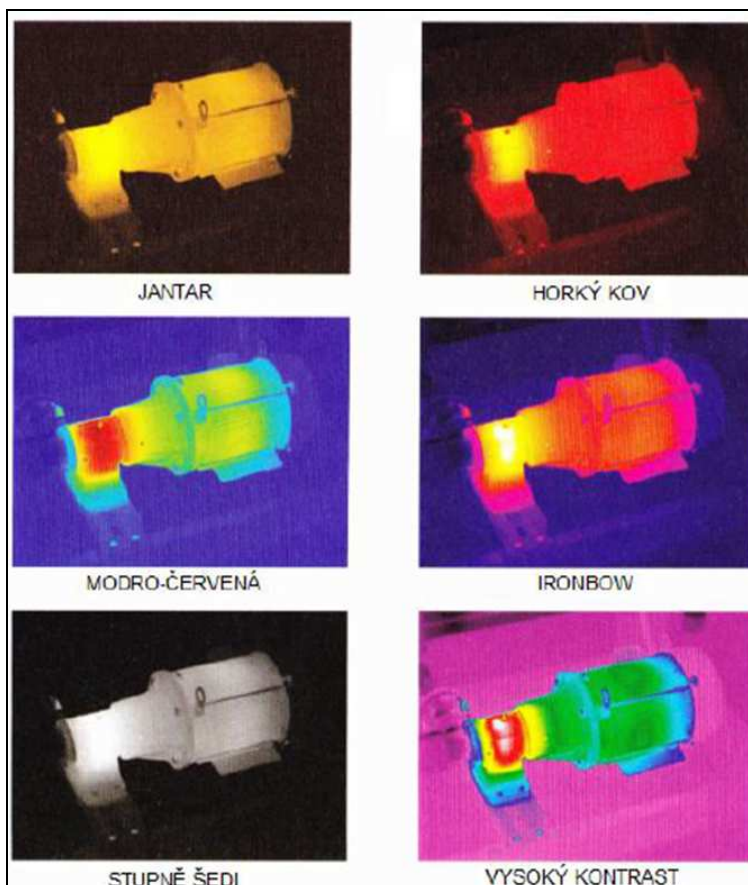
Směrníková termografie je metoda porovnávací distribuci teploty za jednotku času ve stejných objektech. Používá se například u mechanických zařízení, u kterých jsou většinou tepelné stopy dost složité. Aplikuje se například u kontroly žáruvzdorné izolace, u které se závada může projevat v podobě pomalého tepelného projevu.



Obr. 21 Směrnicevá termografie – Dopravní vozík naplněný roztaveným kovem [5]

4.4.4 Barevné palety

Barevné schéma, pomocí kterého je schopna infračervená termografická kamera zobrazovat termogram na displeji. Existuje více barevných schémat zobrazení termogramu, důležité je vybrat tu, na které je nejvíce znázorněna závada objektu. Ideální je, když má možnost technik si tyto barevné palety měnit i později na počítačovém software, po pořízení termogramu. [5]



Obr. 22 Barevné palety termogramů elektromotoru [5]

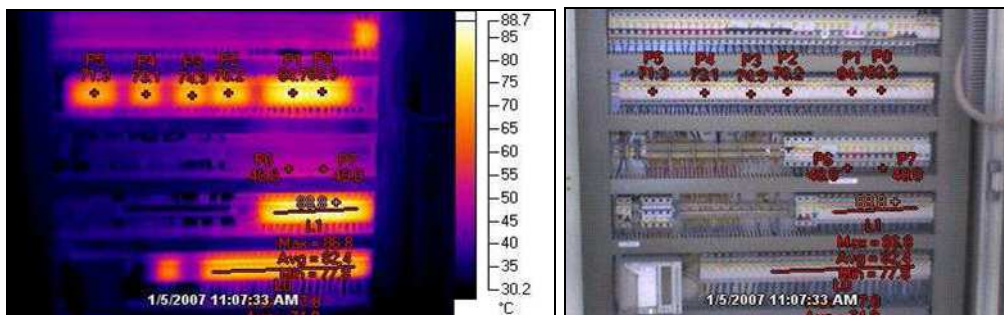
4.5 Využití termografické diagnostiky v praxi

Termografická diagnostika v elektrotechnice

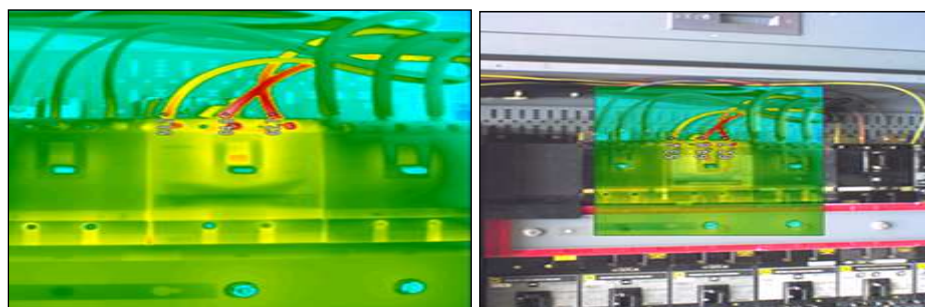
V elektrotechnice se využívá termografická diagnostika k detekci problémových míst při výrobě a distribuci elektrické energie, ale také při diagnostice elektrických zařízení a strojů během jejich provozu. Jelikož se jedná o bezkontaktní měření, kdy není nutný zásah do příslušného zařízení a jeho odstavení z činnosti. Zavedením pravidelných kontrol je možné detekovat závady již v jejich raném stádiu.

Termografická diagnostika elektrických strojů a zařízení se využívá při:

- Kontrole elektrické energie.
- Kontrole transformátorů.
- Kontrole rozveden NN, VN a VVN.
- Kontrole rozvaděčů.
- Kontrole oteplení elektromotoru.
- Kontrole mechanických částí rotačních strojů.



Obr. 23 Kontrola elektrických prvků rozvaděčů [2]



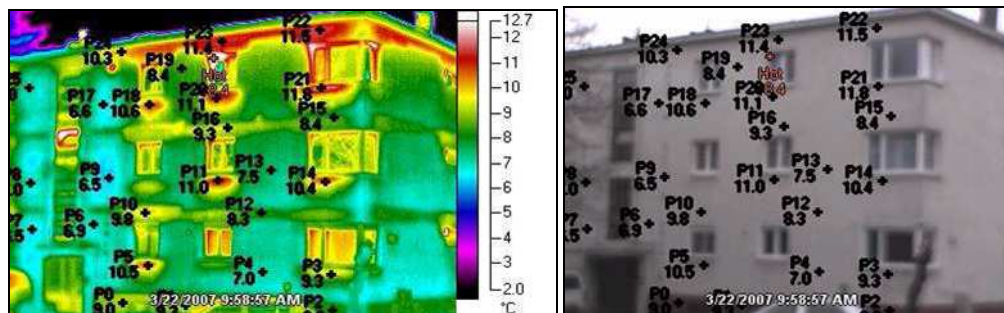
Obr. 24 Kontrola spojů [2]

Termografická diagnostika ve stavebnictví

Jedním z nejdůležitějších požadavků na obytné či průmyslové stavby je jejich energetická nenáročnost, daná kvalitou tepelné izolace budovy. Termografická diagnostikou objektů, lze odhalit anomálie v rozložení teplotních polí na pláštích budov a posoudit tak kvalitu izolace.

Termografická diagnostika objektů je využívána pro kontrolu:

- Míst vykazující teplotní ztráty pro následné projektování izolace.
- Kontrola kvality provedení staveb pro kolaudační řízení.
- Vyhledávání prasklin obvodového zdiva.
- Vyhledávání závad podlahového topení a jeho vedení.
- Technologického vybavení budov.



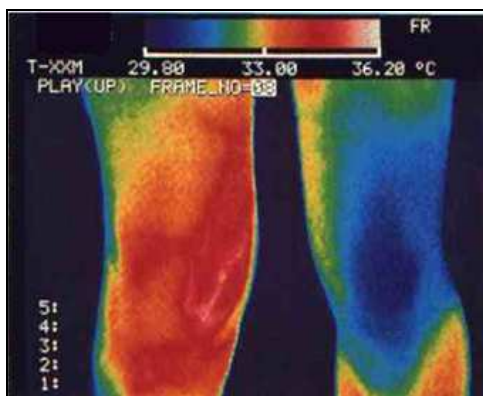
Obr. 25 Únik tepla ve štítu budovy [2]

Termografická diagnostika ve zdravotnictví

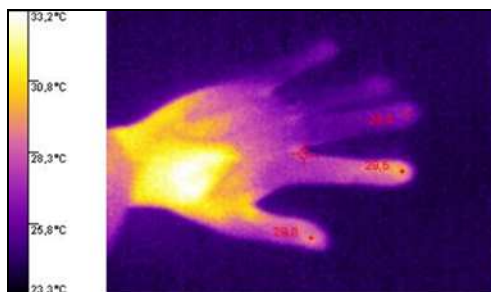
Termografická diagnostika je ve zdravotnictví využívána jako pomocná metoda. Je to jediná zobrazovací metoda založená na detekci a zpracování vlastních biosignálů vznikajících v organismu.

Termografickou diagnostikou je možné detekovat:

- Zánětlivá onemocnění kloubů.
- Onemocnění štítné žlázy.
- Chorobné stavy krevního řečiště.
- Onemocnění lymfatického systému.
- Demarkace popálenin a omrzlin.
- Sledování úspěšnosti léčby.



Obr. 26 Zánětlivé onemocnění kolene [2]



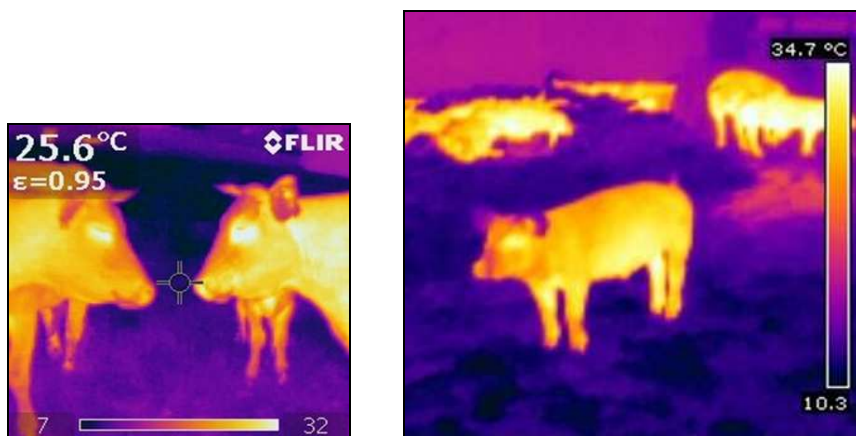
Obr. 27 Zánět prstu po úrazu [2]

Termografická diagnostika v zemědělství

V současnosti se kladou na kvalitu masných a mléčných výrobků stále větší nároky. Protože jedním z kritérií pro tyto nezávadné výrobky je také dobrý zdravotní stav dobytka, je nutné předcházet jejím onemocněním, případně šíření nemocí. Jedním z nástrojů, jak je možné předejít šíření onemocnění chovných zvířat je použití termografické metody. Pomocí termografické diagnostiky je možné detekovat teplotní anomálie v teplotních polích zvířat, které jsou způsobeny zánětlivými onemocněními. Díky včasné detekci onemocnění jednotlivých kusů dobytka tak lze předejít škodám způsobeným přenosem nakažlivých chorob, případně znehodnocení celé výroby masných či mléčných produktů.

Termografickou diagnostikou je možné využít při:

- Mastitidě hovězího dobytka.
- Zánětech šlach a namožených svalů.
- Tepelné pohodě dobytka.
- Tepelných poměrů ve stájích.



Obr. 28 Termografický snímek skotu a vepřů [2]

5. Platná legislativa pro revize a kontroly elektrických zařízení

Při provádění revizí a kontrol na elektrických zařízeních, nám může pomoci termografické měření infračervenou termografickou kamerou. Snadno a rychle diagnostikujeme možnou závadu. Tato diagnostická metoda je velmi bezpečná a účinná. Nedochozí při ní k velkému zásahu do revidovaného zařízení.

Jedním z důvodů proč provádět kontroly a revize u elektrických zařízení, jsou platné právní předpisy, ukládající povinnost udržovat elektrická zařízení v bezpečném stavu, aby neohrožovaly bezpečnost osob, zvířat a majetku, za což zodpovídá jejich provozovatel. Toto předepisuje zákoník práce (zákon č. 262/2006 Sb.), v § 101 odstavec 1. Dalším zákonem je číslo 309/2006 Sb. v § 2, podle kterého je povinen zaměstnavatel vytvářet podmínky pro nezávadné, bezpečné a zdravé neohrožující pracovní prostředí přijímáním opatření k prevenci rizik. V § 4, který ukládá zaměstnavateli, že technická zařízení, stroje, prostředky a nářadí musí být řádně a pravidelně udržovány, revidovány a kontrolovány. Dalším právním předpisem je nařízení vlády číslo 101/2005 Sb. v § 3 a § 4 vyžaduje od zaměstnavatele stanovení termínů, zkoušek, lhůt a rozsahů kontrol, revizí, termínů údržby, oprav a rekonstrukcí technického vybavení pracovišť.

V mnoha dalších právních předpisech je zohledněna povinnost provádět revize technických zařízení. Nařízení vlády č. 378/2001 Sb., které stanovuje bližší požadavky na bezpečný provoz a použití strojů, technických zařízení, nářadí a přístrojů. Vyhláška číslo 73/2010 Sb., která vyhrazuje zařízení a stanovující některé podmínky k zajištění jejich bezpečnosti.

Revize elektrických zařízení dle ČSN 33 1500

ČSN 33 1500 je norma stanovující, lhůty revizí podle druhu prostoru nebo prostředí. Před uvedením elektrického zařízení do provozu, je nutné toto zařízení prověřit a vyzkoušet. Během provozu, je nutné provádět pravidelné kontroly a revize tohoto elektrického zařízení.

Účelem revize elektrických zařízení je ověřování jejich stavu z hlediska bezpečnosti. Požadavky se považují za splněné, pokud elektrické zařízení odpovídá z hlediska bezpečnosti příslušných ustanovením norem.

Tato norma ČSN 33 1500 obsahuje:

Výchozí revize

Nová elektrická zařízení je možné uvést do provozu jen tehdy, byl-li jejich stav z hlediska bezpečnosti ověřen výchozí revizí, popř. ověřen a doložen dokladem v souladu se stanovenými zvláštními právními předpisy.

Pravidelné revize

Na provozovaných elektrických zařízeních, musí být pravidelně prováděny revize a kontroly. V této normě jsou uvedeny lhůty pravidelných revizí, dle prostředí ve kterých jsou tyto zařízení provozovány (viz tab. 2).

Lhůty pravidelných revizí elektrických zařízení

Dle normy ČSN 33 1500 jsou stanoveny lhůty pravidelných revizí, v závislosti na prostředí, ve kterém jsou provozovány (viz tab. 2)

Tab. 2 Lhůty pravidelných revizí dle ČSN 33 1500 [7]

a) Lhůty pravidelných revizí stanovené podle prostředí (viz ČSN 33 0300)		
Poř. č.	Druh prostředí (podle ČSN 33 0300)	Revizní lhůty v rocích
1.	Základní	5
2.	Normální	5
3.	Studené	3
4.	Horké	3
5.	Vlhké	3
6.	Mokré	1
7.	Se zvýšenou korozní agresivitou	3
8.	S extrémní korozní agresivitou	1
9.	Prašné s prachem nehořlavým	3
10.	S otřesy	2
11.	S biologickými škůdci	3
12.	Pasivní s nebezpečím požáru	2
13.	Pasivní s nebezpečím výbuchu	2 ¹⁾
14.	Venkovní	4
15.	Pod přístřeškem	4
b) Lhůty pravidelných revizí stanovené podle druhu prostředí se zvýšeným rizikem ohrožení osob		
Umístění elektrického zařízení		Revizní lhůty v rocích
1.	Prostory určené ke shromažďování více než 250 osob (např. v kulturních a sportovních zařízeních, v obchodních domech a stanicích hromadné dopravy apod.)	2
2.	Zděné obytné a kancelářské budovy	5 ²⁾
3.	Rekreační střediska, školy, mateřské školy, jesle, hotely a jiná ubytovací zařízení	3
4.	Objekty nebo části objektů provedené ze stavebních hmot stupně hořlavosti C2, C3 (podle ČSN 73 0823)	2 ²⁾
5.	Pojízdné a převozní prostředky	1 ³⁾
6.	Prozatímní zařízení stanoviště	0,5
c) Lhůty pravidelných revizí pro ochranu před účinky atmosférické a statické elektřiny		
Druh objektu		Revizní lhůty v rocích
1.	Objekty a prostory s prostředím s nebezpečím výbuchu nebo požáru, objekty konstruované ze stavebních hmot stupně hořlavosti C1, C2, C3	2
2.	Ostatní	5 ⁴⁾

Zpráva o revizi

Zpráva o provedené revizi na elektrickém zařízení dle ČSN 33 1500 musí obsahovat:

- Určení druhu revize (výchozí, pravidelná).
- Soupis použitých přístrojů.

- Vymezení rozsahu revidovaného elektrického zařízení.
- Soupis provedených úkonů (prohlídky, zkoušky a měření).
- Soupis zjištěných závad.
- Datum zahájení a ukončení revize, vypracování a předání revizní zprávy.
- Jméno a podpis revizního technika s jeho evidenčním číslem.
- Naměřené hodnoty, pokud nejsou obsaženy v dokladech použitých pro sestavení; revizní zprávy.

Revize elektrických zařízení dle ČSN 33 2000 – 6

Norma ČSN 33 2000 – 6 předepisuje, jakým způsobem se provádějí kontroly a revize na elektrických zařízeních. Předepisuje na jakých elektrických zařízeních a co je třeba zkontrolovat.

Technici, kteří provádějí revize a kontroly na elektrickém zařízení musí být:

Dle vyhlášky 50/1978 Sb. §6 Pracovníci pro samostatnou činnost

(1) Pracovníci pro samostatnou činnost jsou pracovníci znalí s vyšší kvalifikací, kteří
 a) splňují požadavky pro pracovníky uvedené v § 5 odst. 1, b) mají alespoň nejkratší požadovanou praxi uvedenou v příloze 1, c) prokázali složením další zkoušky v rozsahu stanoveném v § 14 odst. 1 znalosti potřebné pro samostatnou činnost. [10]

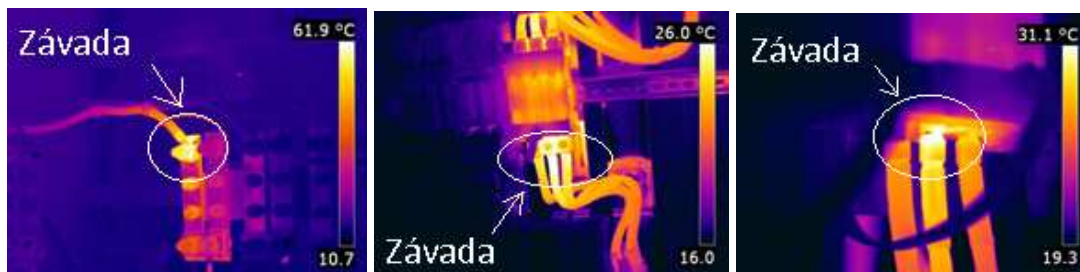
Dle vyhlášky 50/1978 Sb. §9 Pracovníci pro provádění revizí

(1) Pracovníci pro provádění revizí elektrických zařízení (dále jen "revizní technici") jsou pracovníci znalí s vyšší kvalifikací, kteří mají ukončené odborné vzdělání uvedené v přílohách 1 a 2, praxi uvedenou v příloze 1 a na žádost organizace složili zkoušku před některým z příslušných orgánů dozoru. [10]

6. Termografické měření elektrických rozvodů

6.1 Měření rozvodných zařízení

Termografická diagnostika nachází uplatnění v měření vysokého, velmi vysokého a nízkého napětí. Jedná se o nedestruktivní metodu jak odhalit možnou závadu na elektroinstalaci. U rozvodných zařízení se může závada projevit vyšší teplotou v místě s vyšším přechodovým odporem. Prvky elektroinstalace jako spínací prvky, koncové a spojovací armatury, proudové cesty by měli mít stejnou teplotu, jako mají připojené vodiče nebo přípojnice. Jestliže prvek elektroinstalace vykazuje vyšší teplotu oproti shodným nebo podobným prvkům, lze usuzovat na závadu a následně provést podrobnější analýzu měřeného bodu. Tato metoda technické diagnostiky má velmi dobré využití při preventivních kontrolách elektrotechnických zařízení a na základě výsledku měření provádění cílené údržby. To má za následek ekonomický efekt podobě snížení počtu poruch elektrického zařízení, snížení poškození izolace z důvodu vysokých teplot vodičů. Hlavním důvodem, proč provádět kontroly těchto elektrotechnických zařízení, je riziko vniku požáru v důsledku nadměrného přehřátí vadných prvků v těchto elektrotechnických zařízeních.



Obr. 29 Závady na proudové dráze odpojovače v silové části rozvodny vysokého napětí [2]



Obr. 30 Nadměrné zahřívání jisticích prvků elektrického rozvaděče [2]

Je nutno brát zřetel na skutečnost, že při průchodu elektrického proudu vadným kontaktem, (studený spoj nebo nedotažený spoj), na kterém vzniká nerovnoměrné rozdílné oteplení dané plochy nebo vodiče. Z těchto důvodů provádíme termografické měření elektrotechnického zařízení při plném proudovém zatížení. Pokud měřené elektrické zařízení není plně proudově zatíženo, provedeme korekční výpočet, z okamžitého proudového zatížení na požadované. Tyto výpočty jsou pouze přibližné proto je nutno brát zřetel na okolní podmínky, např. proudění vzduchu apod.

Výpočet tepelného zatížení kontaktu při požadovaném proudovém zatížení:

$$T_{zát.} = (T_{\text{kontaktu}} - T_{\text{okolí}}) \cdot \left(\frac{Z_{\text{átěžnová}}}{Z_{\text{átěžpůvodní}}} \right)^2 + T_{\text{okolí}} \quad (3)$$

Jestliže provedeme termografické měření na elektrickém obvodu, kde je teplota na kontaktu $T_{\text{kontaktu}} = 30^{\circ}\text{C}$ a teplota okolí $T_{\text{okolí}} = 20^{\circ}\text{C}$ (za teplotu okolí lze považovat teplotu ovzduší v rozvodné skříni nebo teplotu vodiče dostatečně vzdáleného od místa, kde je kabel zahříván apod.). Zjištěná proudová zátěž kontaktu je 40 % a potřebujeme zjistit, jaká bude teplota kontaktu při proudové zátěži 80 %.

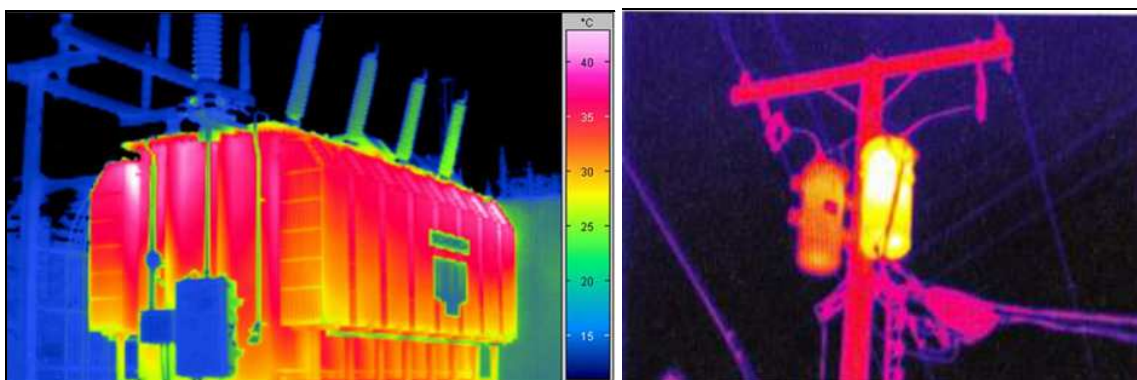
$$T_{zát.} = (T_{\text{kontaktu}} - T_{\text{okolí}}) \cdot \left(\frac{Z_{\text{átěžnová}}}{Z_{\text{átěžpůvodní}}} \right)^2 + T_{\text{okolí}} \quad (4)$$

$$T_{80\%} = (30 - 20) \cdot \left(\frac{80}{40} \right)^2 + 20 = 60^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

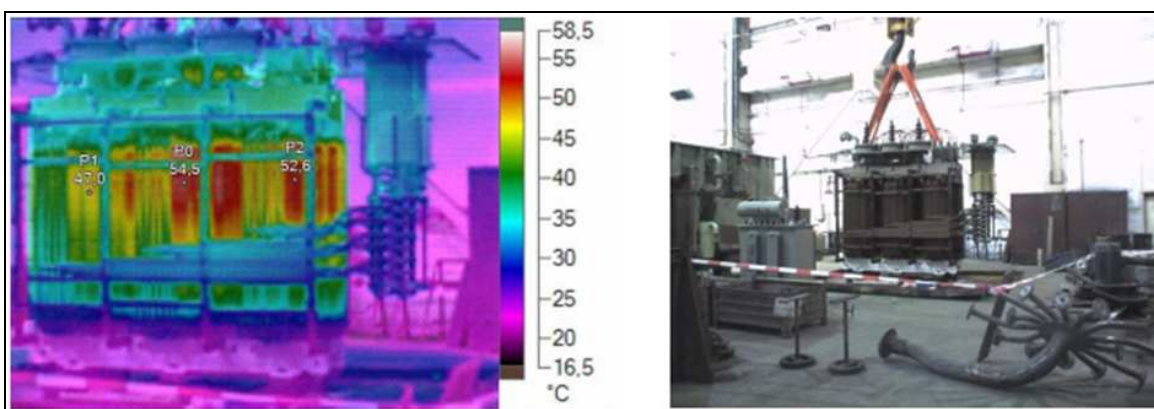
Z toho vyplývá, že při nárůstu proudové zátěže ze 40 % na 80%, se zvýší teplota kontaktu o 30 °C. Při plném zatížení by byla teplota kontaktu ještě vyšší. Proto je důležité brát ohledy na to, že i když to tak nevypadá, může při plném zatížení dojít k výraznému problému, proto je vždy nutné na to myslet. Při nadměrnému zahřívání vodičů se zkracuje jejich životnost. V případě elektromotoru, u kterého je překročena doporučená provozní teplota v místě vinutí o 10 °C zkrátí se životnost na 50 %. Při překročení provozní teploty o 20 °C zkrátí se životnost na 75 % a o 30 °C již o 80 %. [1], [2]

6.2 Měření transformátorů

Transformátor je elektrické zařízení, které umožňuje přenášet elektrickou energii mezi obvody pomocí elektromagnetické indukce. Při provozu se transformátor zahřívá, a proto je vybaven olejovým chladičem, anebo má chlazení vzduchové. Aby docházelo ke správnému chlazení transformátoru, je nutno kontrolovat stav množství olejové náplně. Kontrolu můžeme provádět termograficky a to bez nutnosti přímého zásahu do kontrolovaného zařízení. Na pořízeném termogramu pak vidíme výšku hladiny olejové náplně. Další závadou a příčinou nadměrného zahřívání transformátoru, může být mezi závitový zkrat ve vinutí, velký přechodový odpor atd. Tyto závady odhalíme pomocí termografické diagnostiky a to především bez nutnosti přímého kontaktu s transformátorem. Jedná se tedy o velmi bezpečnou metodu.



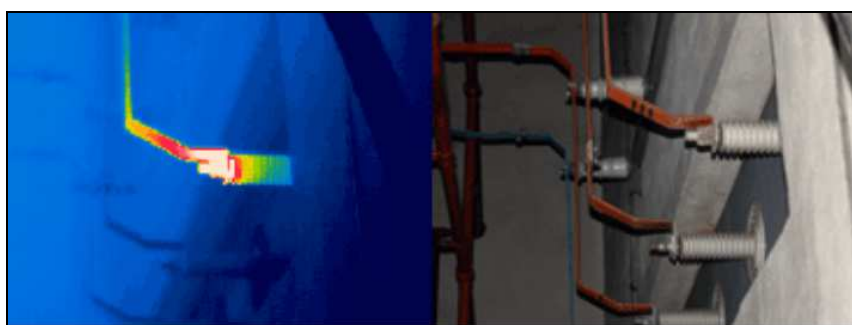
Obr. 31 Přehřívající se transformátor [2]



Obr. 32 Teplotní pole cívek transformátoru [2]

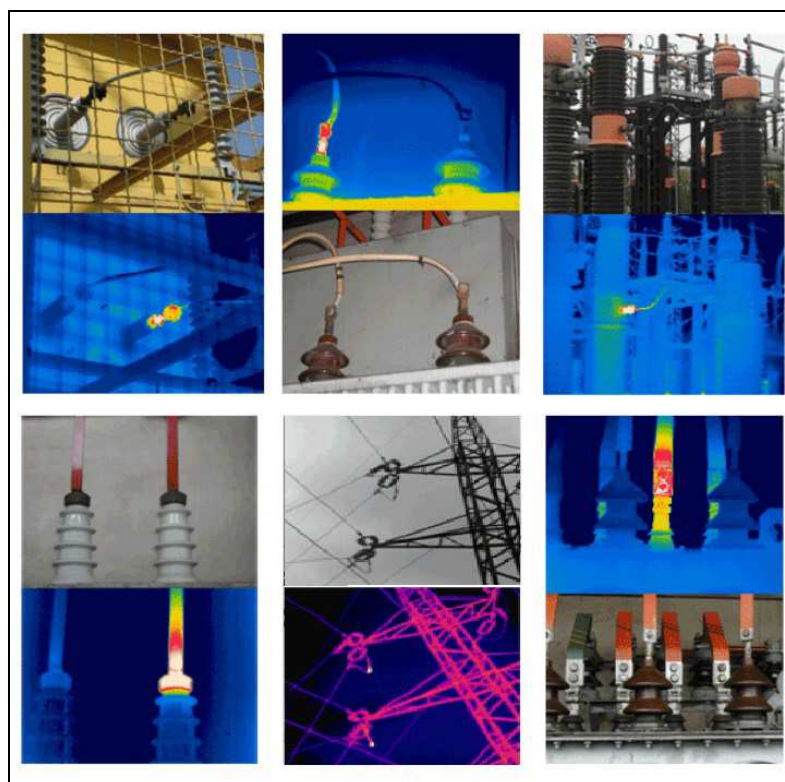
6.3 Měření kabelových souborů

Kabelové soubory obsahuje každé elektrické zařízení, ať už se jedná o vysoké napětí, velmi vysoké napětí a nízké napětí. Prostřednictvím kabelových souborů se ukončují a spojují kabely elektrického vedení. Při průchodu elektrického proudu těmito soubory, může vznikat zvýšený přechodový odpor a to se projeví zvýšeným zahříváním v tomto místě. Díky termografickému měření, můžeme tyto závady při preventivních kontrolách odhalit.



Obr. 33 Vysoký přechodový odpor spojení [1]

Měření točivých strojů Závady lze odhalovat bez nutnosti demontáže elektrického rozvodu a můžeme tak sledovat oteplení daného elektrického prvku v reálném čase.



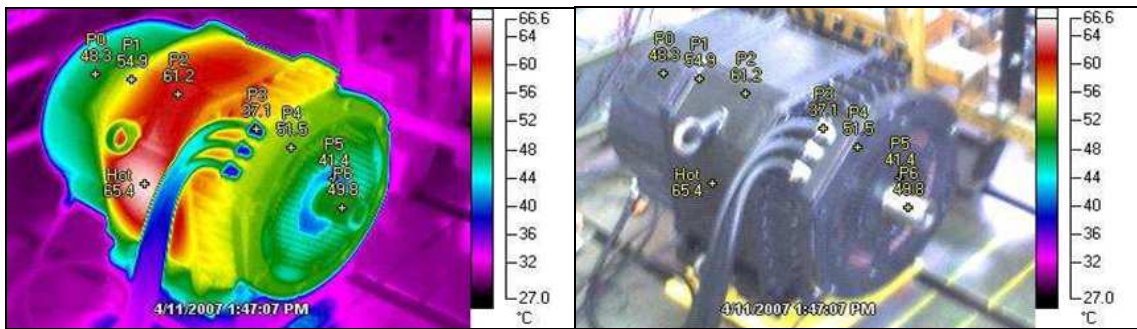
Obr. 34 Příklady zvýšeného přechodového odporu kontaktu a spojů [1]

6.4 Měření točivých strojů

V elektrotechnice si můžeme pod názvem točivý stroj představit generátor, elektromotor, ventilátor nebo elektrické čerpadlo atd. Tato strojní zařízení se při své práci zahřívají, ale nesmí překročit svojí maximální provozní teplotu. Nadměrné zahřívání zařízení, může být způsobeno vadou v elektroinstalaci, nebo poškozením mechanických částí. V elektroinstalaci může dojít k mezizávitovému zkratu vinutí statoru a projeví se to zvýšeným zahříváním. Dalším důvodem nadměrného zahřívání je poškozené ložisko, nebo špatně ustavený stroj. Všechny tyto závady můžeme odhalit pomocí termografického měření.



Obr. 35 Poškozené ložisko a špatné ustavení stroje [2]



Obr. 36 Nadměrné zahřívání elektromotoru z důvodu nedostatečného chlazení [2]

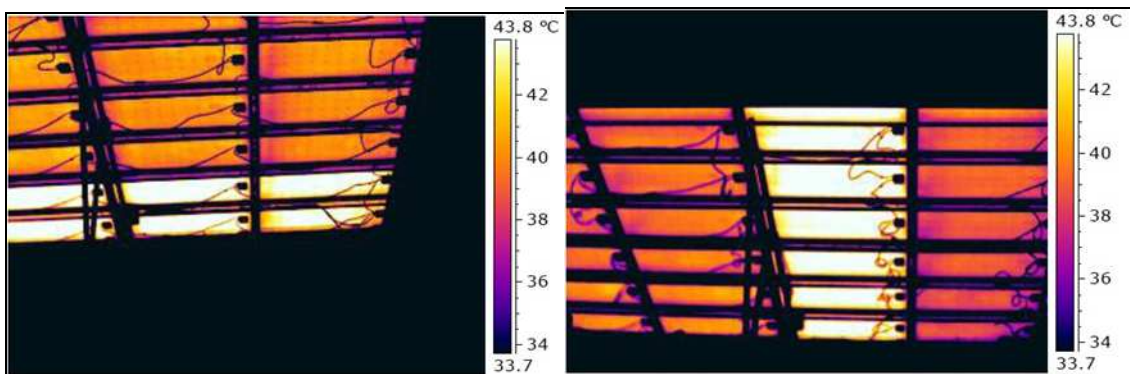
6.5 Měření panelů fotovoltaické elektrárny

Termografickým měřením provádíme kontroly na fotovoltaických panelech, zda nevykazují nedostatky, které by ovlivňovaly výkon a nevznikaly finanční ztráty. Kontroly je možné provádět po montáži panelu a zjistit, zda nemají výrobní vadu, nebo nejsou chybně zapojeny. Rovněž pravidelnými kontrolami panelu pomocí termografického měření, lze prokázat stárnutí solárních panelů a může být podkladem pro výměnu panelů. Dalším důvodem kontroly, je odhalování vadných panelů.



Obr. 37 Vadný sektor fotovoltaického panelu [2]

Příklad chybného zapojení celého sloupce panelu ve stojanu. Tato vada je způsobena vadnou montáží. Závada snižuje výkon této fotovoltaické elektrárny.



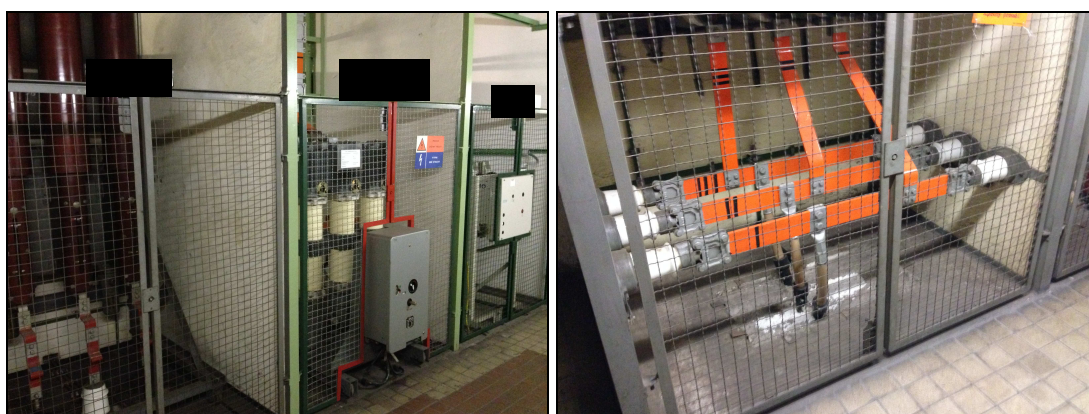
Obr. 38 Chybné zapojení fotovoltaického panelů [2]

7. Termografické měření rozvodů vysokého napětí

Níže jsou uvedeny příklady konkrétních měření pomocí termografické kamery. Některé informace jsou vykřížkovány z titulu nezveřejnění informací.



Obr. 39 Rozvodna vysokého napětí



Obr. 40 Prvky rozvodů vysokého napětí

7.1 Popis sledovaného úseku vysokého napětí

Diagnostikovaným úsekem byla rozvodna vysokého napětí, která slouží k distribuci elektrické energie. Jednalo se o důležitou páteř rozvodů elektrické energie. Rozvodna se nachází ve tři podlažní budově. Na prvním podlaží rozvodny jsou kabelové prostory, ve druhém spínačové prostory a ve třetím potom sběrniceový prostor rozvodny. V těchto patrech jsou elektrické prvky rozmístěny do očíslovaných kobek (obr. 41). Jmenovité napětí v této rozvodně je 6 kV.



Obr. 41 Kobka spínačového prostoru rozvodny vysokého napětí

7.2 Průběh měření a okolní podmínky

Termodiagnostické měření rozvodů vysokého napětí, probíhalo uvnitř budovy rozvodné stanice. Kontrolována byla veškerá elektrotechnická zařízení vysokého napětí a bylo diagnostikováno 240 kobek. Jednalo se o běžný provoz. Po příchodu do rozvodny, byla naměřena teplota

prostředí 22 °C. Na infračervené termografické kameře, byla nastavena emisivita, dle předchozích zkušeností termodiagnostika. Hodnota emisivity byla 0,95. Prvky elektroinstalace umístěné v kobce, jsme porovnali mezi sebou a určili stupeň oteplení dle (tab. 5). Diagnostikované závady, byly vyhodnoceny a zaznamenány do formuláře o termografickém měření. Zároveň byly pořízeny fotografie a termogram kontrolovaného zařízení. Z údajů řídicího střediska, byly odečteny hodnoty proudového zatížení rozvodů vysokého napětí v rozvodně. Tato pravidelná termografická kontrola je prováděna jednou měsíčně a slouží jako pomůcka k revizím elektrotechnických zařízení.



Obr. 43 Měření infračervenou termografickou kamerou FLUKE Ti45

Tab. 4 Parametry při měření

Nastavení kamery	
Odražená zdánlivá teplota	32 °C až 35 °C
Emisivita	0,95
Okolní podmínky	
Teplota prostředí	22 °C

7.3 Zpracovávání a vyhodnocení měření

Zpracování naměřených dat, bylo provedeno ve firmě HUDECZEK SERVICE s. r. o. Data v podobě termogramu byly z infračervené termografické kamery přeneseny do počítače a pomocí softwaru SmartView® byly vyhodnoceny. Na pořízených termogramech, lze snadno identifikovat závadu pomocí barevného spektra. Při měření byl pořízen také fotografický snímek měřeného zařízení pro lepší přehlednost. Záznam o měření byl zpracován dle manuálu firmy HUDECZEK SERVICE s. r. o. Tato dokumentace o měření je majetkem firmy.

Klasifikační stupně stavu elektrozařízení

Svorky a spoje, které jsou bez vady, nesmí být teplejší než vodič, na který jsou připojeny. Spoje s vyšší teplotou než vodič jsou klasifikovány podle níže uvedené tabulky (tab. 5) do sedmi stupňů.

Tab. 5 Klasifikační stupně stavu elektrozařízení [2]

Klasifikace	Stav zařízení	Termín nápravy	Stupeň oteplení (interval v °C)	Riziko provozu
A	Výborný	Bez opatření	0 °C <Δt< 10°C	Přijatelné <10-6
B	Vyhovující	Oprava při plánované revizi	10 °C <Δt< 30°C	Mírné {10-4,10-6}
C	Uspokojivý	Oprava do jednoho měsíce	30 °C <Δt< 50°C	Zvýšené {10-2,10-4}

D	Neuspokojivý	Do jednoho týdne	50 °C <Δt< 80°C	Vysoké {10-1,10-2}
E	Nepřípustný	Oprava ihned	80 °C <Δt	Extrémní {1,10-1}
X	Mimo provoz	-	-	-
Y	Kontrola zrušena	-	-	-

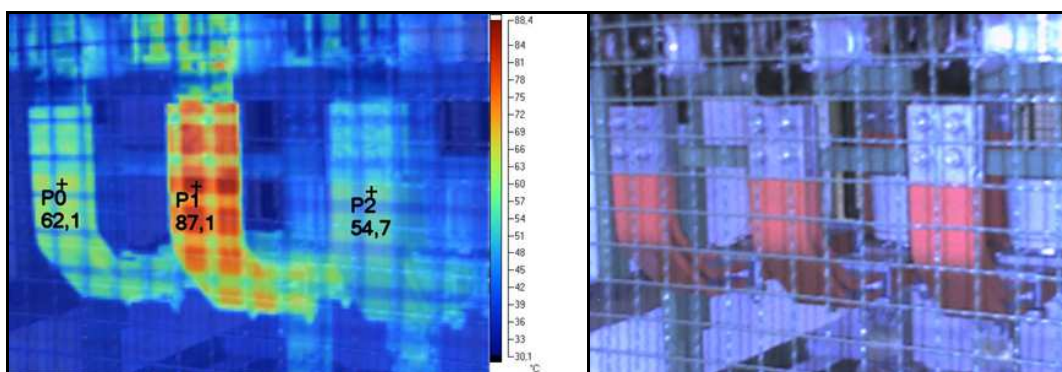
Klasifikační stupně z tabulky (tab. 5) jsou podrobně popsány v níže uvedené tabulce (tab. 6). K jednotlivým klasifikačním stupňům, jsou definovány stavy zařízení a stanoveny opatření do provozu. Dále termíny nápravy, stupně oteplení a riziko provozu elektrického zařízení.

Tab. 6 Definice stavu zařízení a opatření do provozu [2]

	Definice stavu zařízení	Opatření do provozu
A	Bez závad, drobná závada nebo odchylka nevyžadující další opatření. Zařízení se adekvátně opotřebovává. Nová a provozovaná zařízení s přístupnou odchylkou sledovaných indikátorů.	Dlouhodobý provoz bez omezení
B	Závada nebo odchylka vyžadující zásah s možným dlouhodobým odkladem, menší poškození/degradace, zaznamenaná změna sledovaných indikátorů stavu zařízení.	Provoz zařízení do odstranění závady je bez dalších omezení
C	Závada nebo odchylka vyžadující zásah s možným krátkodobým odkladem, menší poškození vyžadující podrobnou/rozšířenou diagnostiku, příp. provedení rozboru trendu sledovaných vlastností zařízení.	Provoz "časově" omezen do plánované odstávky (PO)
D	Velmi vážná poškození vyžadující vynucená opatření pro provoz, potřebná doplňková diagnostika/přepočty zbytkové životnosti s aktuálními parametry, nutnost oprav/výměn, příp. neprodlený rozbor vývoje trendu sledovaných vlastností zařízení.	Do uvedení do provozu odstranit závady nebo přijmout vynucená opatření eventuálně omezení pro provoz po stanovenou dobu. V tomto případě je pak nutné pravidelně vyhodnocovat trend nárůstu sledovaného indikátoru degradace v určených periodách.
E	Stav blížící se havarijnímu eventuálně porucha bránící dalšímu provozu.	Nutné okamžité odstranění závady, vyměnění poškozené komponenty.

V tabulce (tab. 6) jsou podrobně popsány definice stavu zařízení a stanovená opatření do provozu kontrolovaného zařízení. Klasifikační stupeň X a Y, je kvůli nemožnosti diagnostikovat zařízení nepopsán.

Rozvodna 6 kV Generátor



Obr. 44 Odpojovač (termogram) [2] Obr. 45 Odpojovač (fotografie) [2]

Tab. 7 Informace k obrázku č. 44 [2]

Odražená zdánlivá teplota	32,0 °C
Emisivita	0,95
Rozsah snímku	30,1 °C až 88,4 °C
Datum měření	XXXXXXX

Tab. 8 Informace k bodům na obrázku č. 44 [2]

Bod	Teplota bodu	Emisivita	Odražená zdánlivá teplota
P0	62,1 °C	0,95	32,0 °C
P1	87,1 °C	0,95	32,0 °C
P2	54,7 °C	0,95	32,0 °C

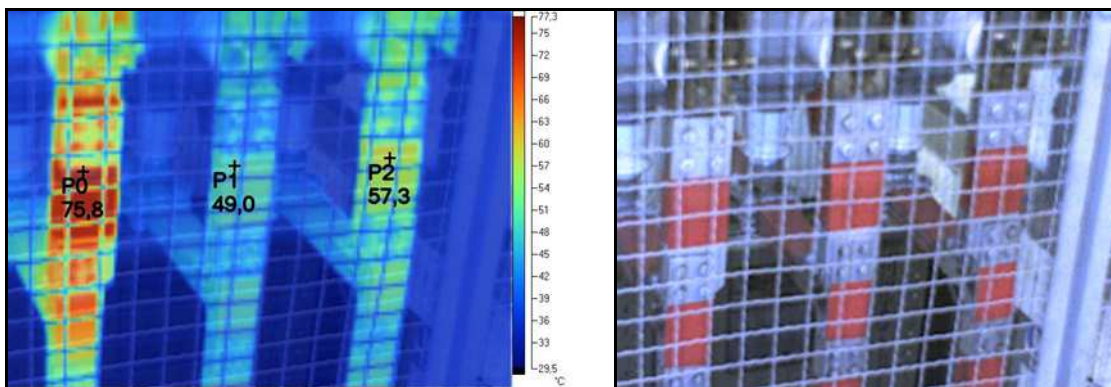
Tab. 9 Zatížení soustavy [2]

Zatížení vedení během měření	I_p	2100	A
Oteplení soustavy ve fázích	Δt_f	32,4	°C
Oteplení soustavy vůči okolí	Δt_o	55,1	°C

Tab. 10 poznámky k obrázku č. 44 [2]

Objekt	rozvodna XXXXX
Rozvaděč	Sběrníkový prostor
Pole	Kobka č. XXX
Název zařízení	Odpojovač
Nález	Zvýšené oteplení ve šroubovém spoji pod odpojovačem fáze L2.
Stav	C - Uspokojivý
Doporučení	Provést vyčištění, kontrolu a dotažení šroubového spoje.

Rozvodna 6 kV – Propoj **XXXXXX**



Obr. 46 Odpojovač (termogram) [2] Obr. 47 Odpojovač (fotografie) [2]

Tab. 11 Informace k obrázku č. 46 [2]

Odražená zdánlivá teplota	35,0 °C
Emisivita	0,95
Rozsah snímku	29,5 °C až 77,3 °C
Datum měření	27. 3. 2015

Tab. 12 Informace k bodům na obrázku č. 46 [2]

Bod	Teplota bodu	Emisivita	Odražená zdánlivá teplota
P0	75,8 °C	0,95	35,0 °C
P1	49,0 °C	0,95	35,0 °C
P2	57,3 °C	0,95	35,0 °C

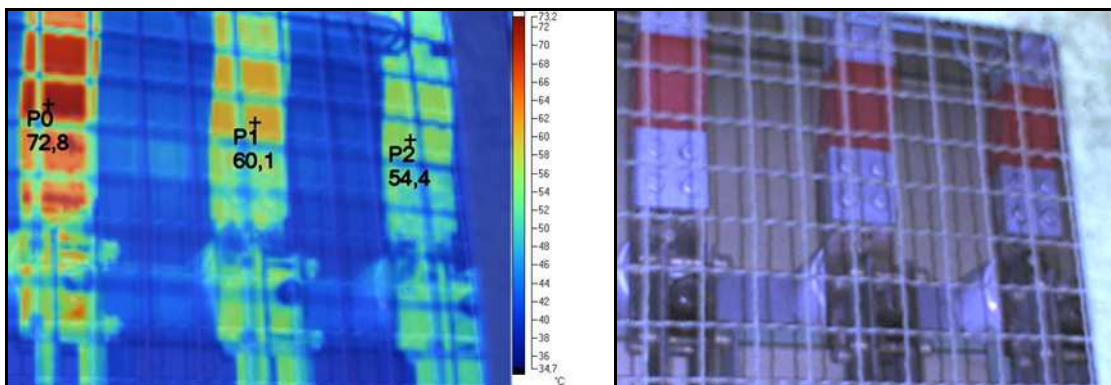
Tab. 13 Zatížení soustavy [2]

Zatížení vedení během měření	I_p	2100	A
Oteplení soustavy ve fázích	Δt_f	26,8	°C
Oteplení soustavy vůči okolí	Δt_o	40,8	°C

Tab. 14 Poznámky k obrázku č. 46 [2]

Objekt	rozvodna XXXXX
Rozvaděč	XXXX sběrníkový prostor
Pole	Kobka XXX
Název zařízení	Odpojovač
Nález	Zvýšené oteplení na šroubovém spoji pod odpojovačem fáze L3.
Stav	B - Vyhovující
Doporučení	Provést vyčištění, kontrolu a dotažení šroubového spoje.

Rozvodna 6 kV – XXXXX rozvodná Propoj XXXX



Obr. 48 Odpojovač (termogram) [2] Obr. 49 Odpojovač (fotografie) [2]

Tab. 15 Informace k obrázku č. 48 [2]

Odražená zdánlivá teplota	33,0 °C
Emisivita	0,95
Rozsah snímku	34,7 °C až 73,2 °C
Datum měření	27. 3. 2015

Tab. 16 Informace k bodům na obrázku č. 48 [2]

Bod	Teplota bodu	Emisivita	Odražená zdánlivá teplota
P0	72,8 °C	0,95	33,0 °C
P1	60,1 °C	0,95	33,0 °C
P2	54,4 °C	0,95	33,0 °C

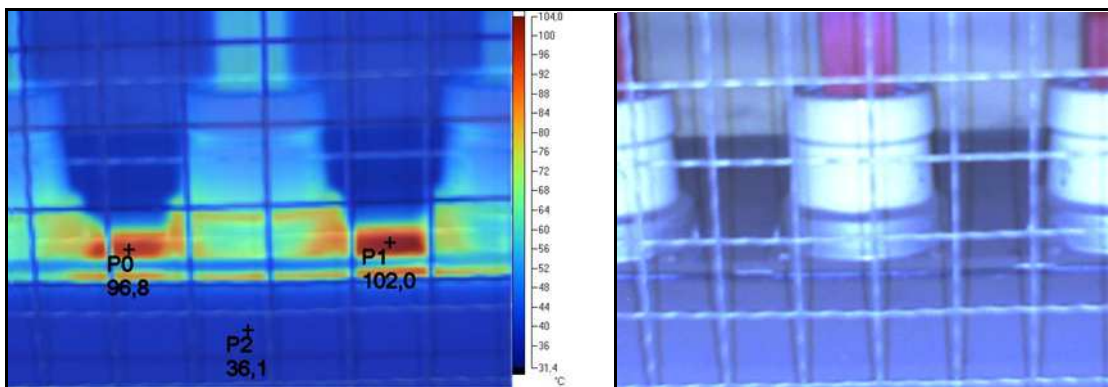
Tab. 17 Zatížení soustavy [2]

Zatížení vedení během měření	I_p	2100	A
Oteplení soustavy ve fázích	Δt_f	18,4	°C
Oteplení soustavy vůči okolí	Δt_o	39,8	°C

Tab. 18 Poznámky k obrázku č. 48 [2]

Objekt	XXXX rozvodna
Rozvaděč	XXXX Sběrníkový prostor
Pole	Kobka XXX
Název zařízení	Odpojovač
Nález	Zvýšené oteplení ve šroubovém spoji nad odpojovačem fáze L1.
Stav	B - Vyhovující
Doporučení	Provést vyčištění, kontrolu a dotažení šroubového spoje.

Rozvodna 6kV – XXXX rozvodná Propoj XXXX



Obr. 50 Nosný plech průchodek (termogram) [2] Obr. 51 Nosný plech průchodek fotografie) [2]

Tab. 19 Informace k obrázku č. 50 [2]

Odražená zdánlivá teplota	33,0 °C
Emisivita	0,95
Rozsah snímku	31,4 °C až 104 °C
Datum měření	27. 3. 2015

Tab. 20 Informace k bodům na obrázku č. 50 [2]

Bod	Teplota bodu	Emisivita	Odražená zdánlivá teplota
P0	96,8 °C	0,95	33,0 °C
P1	102,0 °C	0,95	33,0 °C
P2	36,1 °C	0,95	33,0 °C

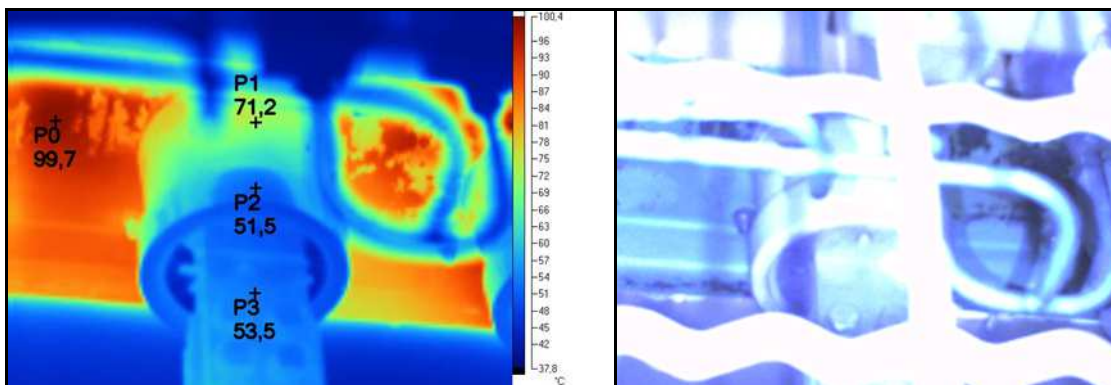
Tab. 21 Zatížení soustavy [2]

Zatížení vedení během měření	I_p	2100	A
Oteplení soustavy ve fázích	Δt_f	65,9	°C
Oteplení soustavy vůči okolí	Δt_o	69,0	°C

Tab. 22 Poznámky k obrázku č. 50 [2]

Objekt	XXXX rozvodna
Rozvaděč	XXXX – Sběrníkový prostor
Pole	Kobka XXXX
Název zařízení	Nosný plech průchodek
Nález	Zvýšené oteplení na nosném plechu způsobené vadnými průchodkami.
Stav	D - Neuspokojivý
Doporučení	Provést výměnu vadných průchodek

Rozvodna 6kV – XXXX rozvodná Propoj XXXX



Obr. 52 Detail nosné konstrukce průchodek (termogram) [2] Obr. 53 Detail nosné konstrukce průchodek (fotografie) [2]

Tab. 23 Informace k obrázku č. 52 [2]

Odražená zdánlivá teplota	33,0 °C
Emisivita	0,95
Rozsah snímku	37,8 °C až 100,4 °C
Datum měření	27. 3. 2015

Tab. 24 Informace k bodům na obrázku č. 52 [2]

Bod	Teplota bodu	Emisivita	Odražená zdánlivá teplota
P0	99,7 °C	0,95	33,0 °C
P1	71,2 °C	0,95	33,0 °C
P2	51,5 °C	0,95	33,0 °C
P3	53,5 °C	0,95	33,0 °C

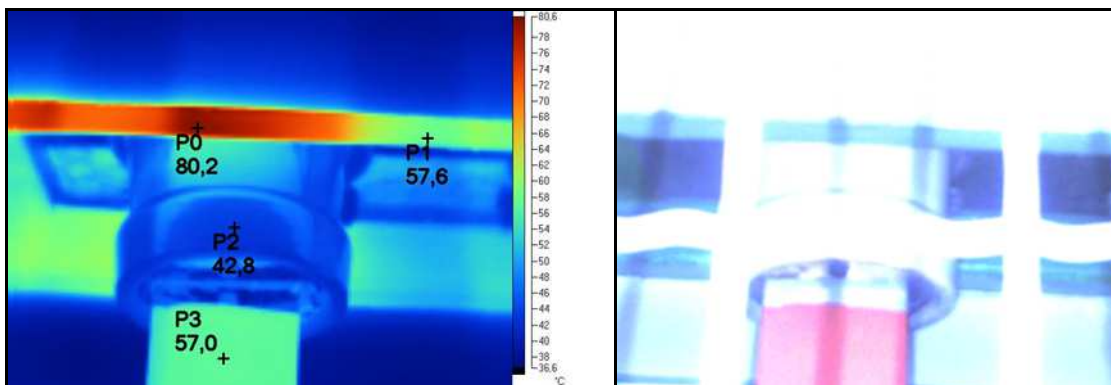
Tab. 25 Zatížení soustavy [2]

Zatížení vedení během měření	Ip	2100	A
Oteplení soustavy ve fázích	Δt_f	48,2	°C
Oteplení soustavy vůči okolí	Δt_o	66,7	°C

Tab. 26 Poznámky k obrázku č. 52 [2]

Objekt	XXXX rozvodna
Rozvaděč	XXXX – Sběrníkový prostor
Pole	Kobka XXX
Název zařízení	Nosný plech průchodek
Nález	Zvýšené oteplení na nosném plechu způsobené vadnými průchodkami.
Stav	D - Neuspokojivý
Doporučení	Provést výměnu vadných průchodek

Rozvodna 6 kV – XXX rozvodna, Generátor 1



Obr. 54 Odpojovač (termogram) [2] Obr. 55 Odpojovač (fotografie) [2]

Tab. 27 Informace k obrázku č. 54 [2]

Odražená zdánlivá teplota	33,0 °C
Emisivita	0,95
Rozsah snímku	36,6 °C až 80,6 °C
Datum měření	27. 3. 2015

Tab. 28 Informace k bodům na obrázku č. 54 [2]

Bod	Teplota bodu	Emisivita	Odražená zdánlivá teplota
P0	80,2 °C	0,95	33,0 °C
P1	57,6 °C	0,95	33,0 °C
P2	42,8 °C	0,95	33,0 °C
P3	57,0 °C	0,95	33,0 °C

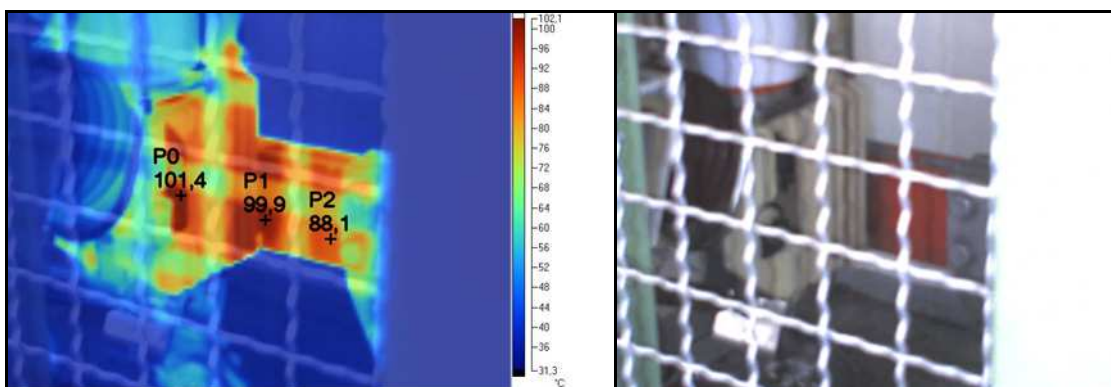
Tab. 29 Zatížení soustavy [2]

Zatížení vedení během měření	I_p	2100	A
Oteplení soustavy ve fázích	Δt_f	37,4	°C
Oteplení soustavy vůči okolí	Δt_o	47,2	°C

Tab. 30 Poznámky k obrázku č. 54 [2]

Objekt	XXXX rozvodna
Rozvaděč	XXXX – Sběrníkový prostor
Pole	Kobka XXXX
Název zařízení	Nosný plech průchodek
Nález	Zvýšené oteplení na nosném plechu způsobené vadnou průchodkou
Stav	C - Uspokojivý
Doporučení	Provést výměnu vadné průchodky

Rozvodna 6 kV – XXX rozvodna Generátor 2



Obr. 56 Odpojovač (termogram) [2] Obr. 57 Odpojovač (fotografie) [2]

Tab. 31 Informace k obrázku č. 56 [2]

Odražená zdánlivá teplota	33,0 °C
Emisivita	0,95
Rozsah snímku	31,3 °C až 102,1 °C
Datum měření	27. 3. 2015

Tab. 32 Informace k bodům na obrázku č. 56 [2]

Bod	Teplota bodu	Emisivita	Odražená zdánlivá teplota
P0	101,4 °C	0,95	33,0 °C
P1	99,9 °C	0,95	33,0 °C
P2	88,1 °C	0,95	33,0 °C

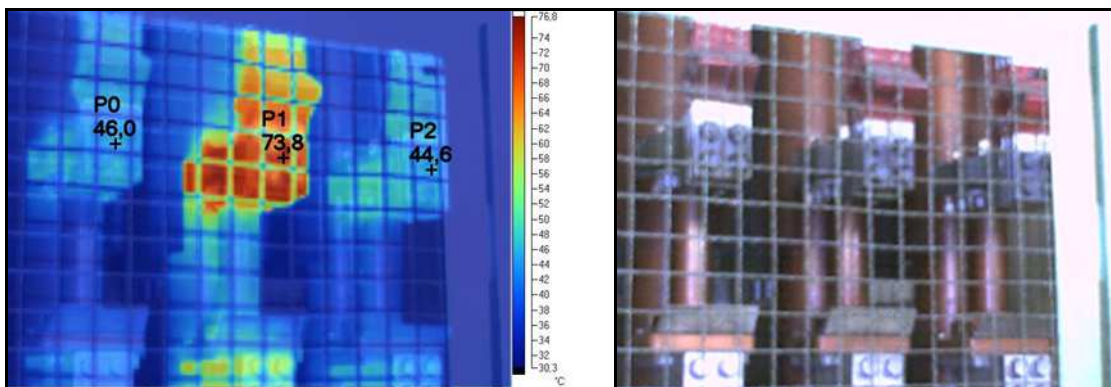
Tab. 33 Zatížení soustavy [2]

Zatížení vedení během měření	I_p	2100	A
Oteplení soustavy ve fázích	Δt_f	13,3	°C
Oteplení soustavy vůči okolí	Δt_o	68,4	°C

Tab. 34 Poznámky k obrázku č. 56 [2]

Objekt	XXXX rozvodna
Rozvaděč	XXXX Spínačový prostor
Pole	Kobka XXXXX
Název zařízení	Chladič
Nález	Zvýšené oteplení ve šroubovém spoji, spodního chladiče fáze L1
Stav	D - Neuspokojivý
Doporučení	Provést vyčištění a kontrolu a dotažení šroubového spoje

Rozvodna 6 kV – XXXX rozvodna Propoj



Obr. 58 Horní měřící transformátor proudu (termogram) [2] Obr. 59 Horní měřící transformátor proudu (fotografie) [2]

Tab. 35 Informace k obrázku č. 58 [2]

Odražená zdánlivá teplota	32,0 °C
Emisivita	0,95
Rozsah snímku	30,3 °C až 76,8 °C
Datum měření	27. 3. 2015

Tab. 36 Informace k bodům na obrázku č. 58 [2]

Bod	Teplota bodu	Emisivita	Odražená zdánlivá teplota
P0	46,0 °C	0,95	32,0 °C
P1	73,8 °C	0,95	32,0 °C
P2	44,6 °C	0,95	32,0 °C

Tab. 37 Zatížení soustavy [2]

Zatížení vedení během měření	I_p	2100	A
Oteplení soustavy ve fázích	Δt_f	29,2	°C
Oteplení soustavy vůči okolí	Δt_o	41,8	°C

Tab. 38 Poznámky k obrázku č. 58 [2]

Objekt	XXX rozvodna
Rozvaděč	XXXX Spínačový prostor
Pole	Kobka XXX
Název zařízení	Vypínač
Nález	Zvýšené oteplení na horním šroubovém spoji vypínače fáze L2
Stav	C – Uspokojivý
Doporučení	Provést vyčištění, kontrolu a dotažení šroubového spoje

7.4 Doporučení pro následný provoz

Vzhledem k tomu, že v rozvodně byly zjištěny závady, jak lze vidět ze záznamů pravidelné kontroly, je nutné provést opravu vadných prvků rozvodů vysokého napětí neprodleně, nebo nejpozději dle klasifikačního stupně stavu elektrozařízení uvedeného v (tab. 5). Nejčastější

závady se nacházejí ve sběrnicovém prostoru na odpojovačích a vypínačích. Tato zařízení jsou během provozu silně proudově namáhána, a proto je nezbytně nutné jim věnovat zvýšenou pozornost při kontrole.

U vypínače, odpojovače a chladiče byla diagnostikována závada nárůstu teploty na šroubovém spoji jedné s fází. Proto je nutné provést vyčištění, kontrolu a dotažení šroubového spoje. Další zjištěnou závadou byla zvýšená teplota na nosném plechu průchodek odpojovače. Tuto závadu je nutné odstranit výměnou vadné průchodky. Nedodržením následného postupu opravy, může dojít k požáru rozvodny.

8. Závěr

Závěrem tohoto článku musíme konstatovat, že nestačí ovládat jen teorii dané problematiky termodiagnostického měření, ale také je nezbytně nutné znát z praxe možné projevy poruch na diagnostikovaném elektrickém zařízení. Zjišťování závad pomocí této metody, vyžaduje mít značnou praxi při provozování elektrických zařízení a dobré teoretické znalosti u pracovníka termodiagnostiky a především znát funkci kontrolovaného zařízení. Bez potřebných znalostí a zkušeností je správné termodiagnostické měření nemožné. Je nutností, aby tato zařízení, kontrolovala jen osoba s elektrotechnickým vzděláním, která musí znát principy, na kterých tato elektrozařízení pracují a mít patřičná osvědčení. Pro kvalitní termovizní technickou diagnostiku nepostačuje mít pouze kvalitní termovizní kameru

Seznam použité literatury

- [1] HELEBRANT, F. – MONI, V. – BLATA, J.: Termografie. Studijní podklady, Ostrava 2010, 69 s.
- [2] Firemní podklady společnosti HUDECZEK SERVICE s. r. o.
- [3] KREIDL, Marcel. Měření teploty: senzory a měřicí obvody. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-145-4.
- [4] KOPAL, Ivan a Pavol KOŠTIAL. Základy infračervenej termografie: experimentálne metódy materiálového inžinierstva. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2011, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2519-9.
- [5] BAYER, Robert. Digitální knihovna VUT v Brně. Použití termovizní kamery v měřicí technice [online]. FLUKE®, 2013 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: https://dSPACE.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/26781/xbayer02_priloha.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [6] GABRHELOVÁ, Lucie: Závislost teploty na vibracích pohonných jednotek. Ostrava, 2014. Dostupné z: <http://dSPACE.vsb.cz/handle/10084/106239>. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce prof. Ing. Josef Jurman, CSc.
- [7] ČSN 33 1500. Revize elektrických zařízení. 1. 6. 1991. Praha: Vydavatelství norem, 1991.
- [8] ČSN 33 2000-6. Elektrická instalace nízkého napětí. 1. 9. 2007. Český normalizační institut. Praha: Vydavatelství norem, 2007.
- [9] ČSN ISO 18434-1. Monitorování stavu a diagnostika strojů: Termografie. 1. 7.2009. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha, 2009.
- [10] Vyhláška Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu o odborné způsobilosti v elektrotechnice. In: č. 50/1978 Sb. 1979. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-50-1978-sb-ceskeho-uradu-bezpecnosti-prace-a-ceskeho-banskeho-uradu-o-odborne-zpusobilosti-v-elektrotechnice>
- [11] Wikipedia: William Herschel. [online]. 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/William_Herschel
- [12] SlidePlayer: Různé teplotní stupnice. [online]. 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/1917352/>
- [13] VOLF, Ivo, JAREŠOVÁ a OUHRABKA. Přenos tepla: Studijní text pro řešitele FO a ostatní zájemce o fyziku. Hradec Králové, 2008, 40 s. Dostupné z: <http://jandur.cz/termodynamics/t1/t14.htm>
- [14] BUBEN. Elektrovizebuben: Proč provádět elektrovizy?. [online]. 2009, 2015 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.elektrovizebuben.cz/index.php/proc-provadet-elektrovize>

Grafická úprava: Ing. Miroslava Grigorescu, Markéta Recmanová