

Zdeněk Horák¹

Termovizní diagnostika trakčního vedení

Klíčová slova: termovizní kamera, LabVIEW, měřicí vůz pevných trakčních zařízení, trakční vedení, inerciální navigační systém, infračervené záření, termovize

Úvod

V lednu roku 2009 byla Technickou ústřednou dopravní cesty zakoupena termovizní kamera švédské firmy Flir řady SC 660, která byla posléze doplněna inerciálním navigačním systémem s podporou signálu GPS. Záměrem pořízení tohoto kompletního systému bylo snímání teplotního obrazu trakčního vedení za jízdy měřicího vozu pevných trakčních zařízení (MVPRZ) tak, aby bylo možno identifikovat a lokalizovat součásti trakčního vedení s nadměrným oteplením při pravidelných jízdách MVPTZ. Jedním z aspektů, proč byla vybrána právě tato přenosná kamera s vysokým rozlišením, bylo umožnit také bezkontaktní měření teplotního pole dle požadavků oblastních ředitelství zejména na trakčních napájecích stanicích.

1. Historie infračervené techniky

Kolem roku 1800 Angličan s českými předky sir William Herschel, dvorní astronom krále Jiřího III., při hledání nového optického materiálu, náhodně objevuje infračervené záření jako jistý druh tepelného záření.(1)

O třicet let později pak italský badatel Macedonio Melloni zjistil, že IR záření nejlépe propouští krystal kamenné soli. Tento materiál se používal v optice pro infračervené záření sto let, než jej v roce 1930 vystřídaly synteticky vyrobené krystaly. Syn Williama Herschela vytváří v roce 1840 první tepelný obraz na papír a nazve jej termogram. Termovizní technika, ve službách vojenského průmyslu, se objevuje už v 1. světové válce a slouží k detekci nejen vojáků, ale i letadel. Od druhé poloviny 20. stol. se pak termovize využívá i pro civilní účely.(2)

2. Teorie termografie

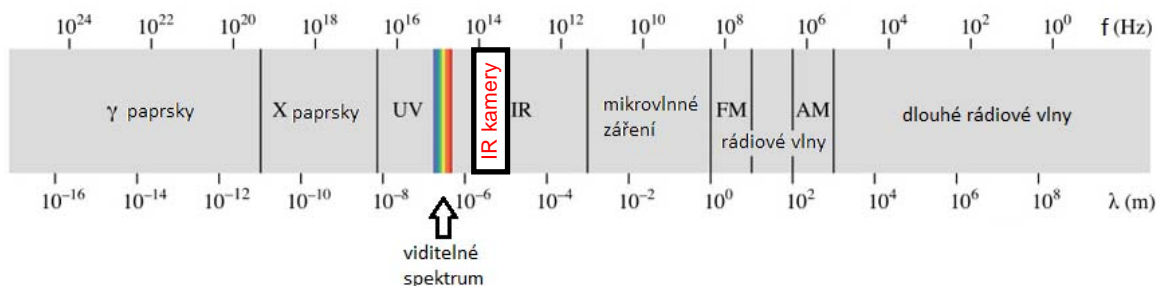
Na obrázku 2.1 můžeme vidět spektrum elektromagnetického záření. Z hlediska termovizní diagnostiky nás zajímá pouze oblast IR záření, kterou můžeme neformálně rozdělit do čtyř pásem. Tato pásma označujeme anglickými názvy:

- Near infrared (0.75-3 μm)

¹ Zdeněk Horák, Ing., nar. 1978, Ph.D. (absolvent VŠB-TU Ostrava, obor elektroenergetika), SŽDC s.o., TÚDC Praha, systémový specialista, Specializované středisko diagnostiky pevných trakčních zařízení, Úsek elektrotechniky a energetiky, nám. Mickiewicze 67, Bohumín

- Middle infrared (3-6 μm)
- Far infrared (6-15 μm)
- Extreme infrared (15-100 μm)

Termovizní kamery však obecně pracují pouze v oblasti vlnových délek 2-13 μm . Naše kamera, kterou provozujeme na měřicím voze trakčního vedení, pracuje v rozsahu 7,5-13 μm .(2)

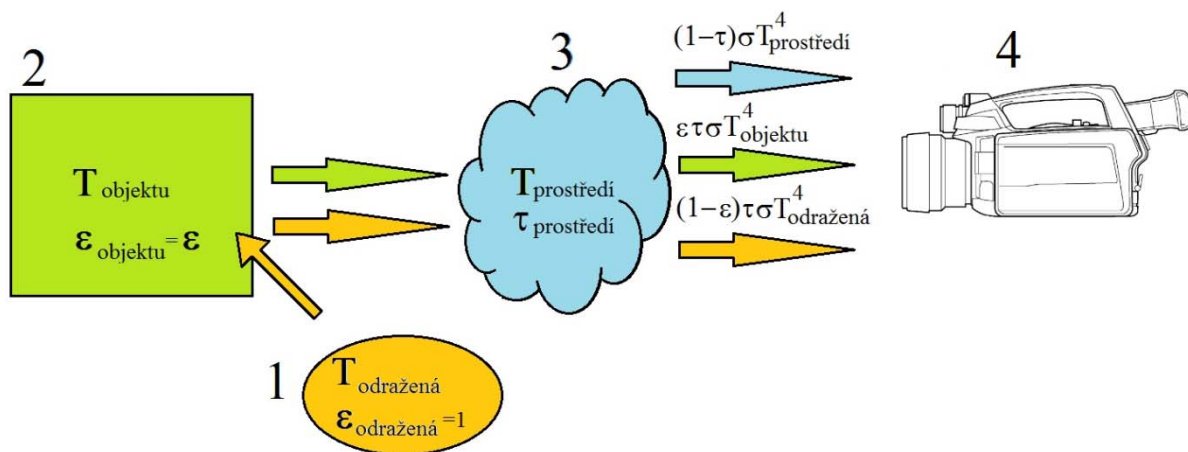


Obr. 2.1: spektrum elektromagnetického záření

Zdroj: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/10391317150-vesmir/212382553450027-mlhoviny>

Samotné „měření“ teplot termovizní kamerou není jednoduchou záležitostí, vyžaduje fundovanou obsluhu a hlavně znalost vstupních parametrů. Je nutné si uvědomit, že termovizní kamery teplotu objektů neměří, ale vypočítávají. Do kamery (č. 4) vstupují tři základní složky záření, jak je vidět z obrázku 2.2. Jedná se o:

- 1) emisi (vyzařování) z měřeného objektu (č. 2),
- 2) odražené záření z okolních zdrojů (č. 1),
- 3) emisi z atmosféry (č. 3).



Obr. 2.2: termovizní měření

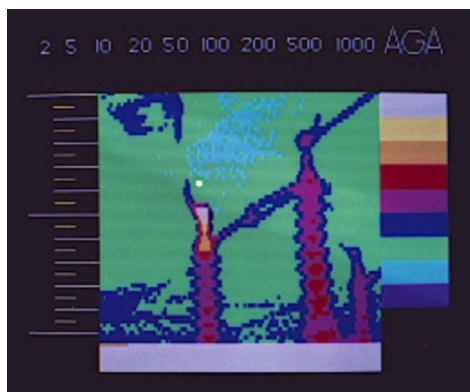
Do kamery musí tedy operátor zadat tyto parametry:

- 1) relativní vlhkost a teplotu atmosféry,
- 2) vzdálenost a emisivitu objektu,
- 3) odraženou teplotu okolí.

Pokud je objektiv kamery chráněn průzorem, ať už z krystalu germania nebo jiným materiálem (ZnSe, KRS-5 aj.), musíme respektovat také transmitanci a teplotu tohoto materiálu.

3. Historie termovizní diagnostiky na železnici

SŽDC resp. ČD má s termovizní diagnostikou dlouholeté zkušenosti. Již v roce 1977 se na tehdejší Elektroúseku v Brně vytvořilo Měřicí středisko termovize, které systematicky provádělo kontrolu EPTZ až do roku 1992. Na tuto dlouholetou činnost naše Středisko diagnostiky pevných trakčních zařízení opět navázalo před třemi lety. Dnes již bývalé Měřicí středisko termovize provozovalo kameru Agema Thermovision 750, jejíž tepelný snímač byl tehdy chlazen kapalným dusíkem. V pravé části obrázku 3.1 můžeme vidět doplňování tohoto chladícího média. Současné kamery již disponují nechlazeným mikrobolometrem nebo jsou chlazeny Peltierovým článkem či Stirlingovým motorem. Na obrázku 3.2 je pak termogram z této kamery. Průměrné roční nasazení čítalo zhruba 1500 hodin. Aparatura byla montována na MVTV a obsluhu tvořili dva pracovníci. Vůz se během měření pohyboval rychlostí 40-50 km/h a záznam se pořizoval na kazety VHS.(3)



Obr. 3.1: AGA Thermovision 750

Obr. 3.2: termogram z AGA 750

Zdroj: Ing. Dobrosлав Hájek, z prezentace „Diagnostika elektrických zařízení“

4. Současný stav měřicího systému THV

Současný měřicí systém se skládá ze čtyř komponentů. Hlavní část tvoří termovizní kamera, obr. 4.1, švédské firmy Flir řady SC 660, která disponuje rozlišením 640×480p. THV záznam se ukládá do souboru v podobě sekvence s trigrováním snímků každých 5 m impulzy z odometrické jednotky. Pro snadnou lokalizaci závad využíváme inerciální navigační systém s podporou GPS signálu kanadské firmy NovAtel Inc., který je doplněn dvěma anténami pro určení statického azimutu. Hodnoty o zeměpisných souřadnicích, času, rychlosti, azimutu (směru, kterým je kamera natočena), náklonech vozu, stavu INS jednotky a jiné, se ukládají do textového souboru 10krát za sekundu. Termovizní záznam je dále doplněn videozáznamem ve viditelném spektru z IP kamery firmy Vivotek v rozlišení 1600×1200p a frekvencí 10 Hz. Tyto systémy se sdružují v průmyslovém PC

s nainstalovanými programy pro měření a analýzu termovizních záznamů, které jsou vytvořeny naším střediskem, a to ve vývojovém prostředí LabVIEW 2010.



Obr. 4.1: umístění termovizní kamery na MVPTZ

Primárně je MVPTZ určen k měření geometrické polohy trolejového vodiče a interakce mezi sběračem proudu a trolejovým vedením. Termovizní diagnostika tedy slouží jako doplňkové měření a nijak nenarušuje organizaci měřících jízd a nezvyšuje náklady na ně.



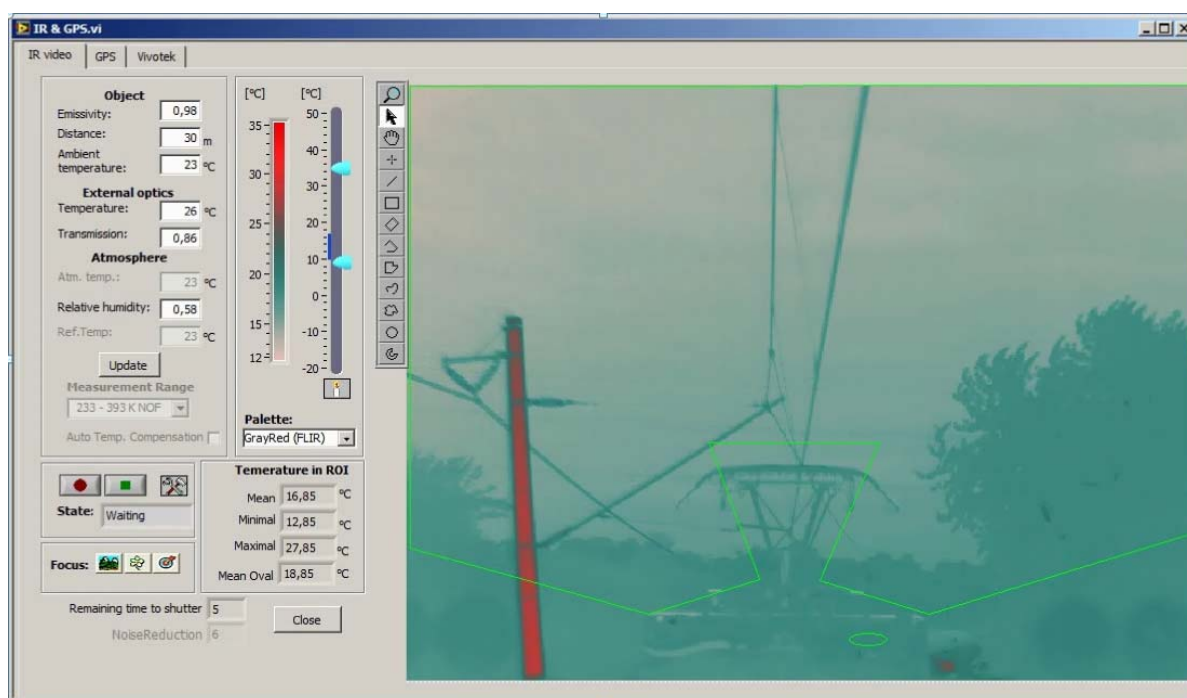
Obr. 4.2: kamera Vivotek, pohled z prohlížecké kabiny

Před prohlížeckou kabinou se nachází kryt z nerezové oceli, v němž je umístěna termovizní kamera, která snímá trakční vedení přes germaniové okno. Inerciální navigační systém se nachází pod prohlížeckou kabinou a zároveň asi 1,5 m nad podlahou vozu. Antény jsou umístěny na střeše měřícího vozu.

Digitální kamera (obr. 4.2) pro videozáznam je instalována v prohlížecké kabině.

5. Měřicí program

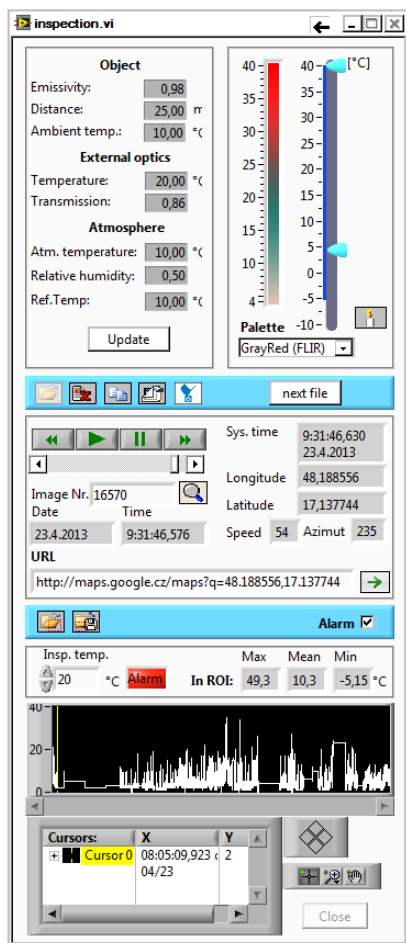
Měřicí program se skládá ze tří tematicky rozčleněných oken. V první záložce nalezneme vše, co se týče termovizní kamery. Jak již bylo zmíněno, do termovizní kamery je třeba zadat parametry objektu, externí optiky a atmosféry. K tomu nám slouží čidla vlhkosti a teploty, která jsou umístěna vně vozu a také na přírubě germaniového okna. Tyto hodnoty se v programu automaticky aktualizují. Vzdálenost k měřenému objektu je stále konstantní (oblast měřících sběračů). Můžeme si zde zvolit typ palety (v našem případě „greyred“ místo klasické „iron“), nastavit meze teplot případně doostřit optiku. Ve vybrané oblasti (znázorněno světlem zelenou barvou) můžeme sledovat maximální, minimální nebo průměrné teploty. Ve druhé záložce operátor kontroluje hodnoty zeměpisných souřadnic, nadmořské výšky, azimutu, času, náklonu skříně vozu, rychlosti a stavu INS jednotky. V poslední záložce se pak skrývá videozáznam IP kamery.



Obr. 5.1: měřicí program

6. Analýza a vyhodnocení naměřených dat

Přestože je měřicí systém stavěný jako bezobslužný, po přenosu naměřených dat na pracoviště musí být naměřená data analyzována pomocí speciálního softwaru. Jedná se o proces, který je časově náročný a vyžaduje jisté znalosti z oboru termografie. Analýza probíhá následujícím způsobem: po spuštění vyhodnocovacího programu (obr. 6.1) a načtení sekvence (obr. 6.2) si operátor nastaví hodnotu teploty pro alarm, což bývá obvykle asi o 5-10°C více než je teplota okolí. Pak stačí spustit prohlížení tlačítkem „play“ a obraz se sám zastaví, pokud se ve sledované oblasti vyskytne teplota větší než nastavená pro alarm. Při vhodně zvolené teplotní škále se toto místo jeví červeně. Ihned vidíme maximální teplotu (v tomto případě okolo 50°C) a zeměpisné souřadnice pro mapový podklad. Jedním kliknutím myši se přeneseme do map Googlu nebo Seznamu na konkrétní souřadnice. Z videozáznamu je patrné, že se jedná proudové propojení na střídavé



Obr. 6.1: vyhodnoc. program

trakci (stanice Bratislava). Krom těchto parametrů máme k dispozici také rychlost jízdy a azimut.

Výstupem jsou termogramy, tedy obrázky míst s nadměrným oteplením, údaje o místě pořízení snímku a také fotozáznam. Určit závažnost takto nalezených míst není snadné, protože při jízdách měřicím vozem nemůžeme sledovat další potřebné parametry, především proud tekoucí v místě oteplení, dobu jeho trvání a také aktuální rychlost větru, který výrazně ovlivňuje hodnotu oteplení.

7. Protokol

Protokol obsahuje jednoznačný název měřeného úseku tratě (vysvětleno v literatuře č. 4), datum měření a samotný termogram s vyznačenými prvky trakčního vedení s nadměrným oteplením. U každého prvku je i jeho maximální teplota. Záměrně je v každém termogramu zobrazen prvek s provozní teplotou jako referenční. Z hlediska objektivity se nejčastěji jedná o druhý konec proudového propojení, protilehlý úsekový odpojovač, chladnější svorku věšáku, pokud je druhá teplejší apod.



Obr. 6.2: termovizní sekvence



Obr. 6.3: výřez videozáznamu

Následuje lokalizace v mapách Googlu nebo Seznamu a výřez z videozáznamu s vyznačenými body (stejně jako v termogramu). V tabulce pak následuje rekapitulace maximálních teplot, času měření, odkaz na mapy, GPS souřadnice ve všech třech formátech, azimut a hlavně přesná lokalizace v podobě čísla trakční podpěry a koleje.

8. Podcenění THV diagnostiky

Na obrázcích 8.1 a 8.2 pak vidíme důsledky podcenění termovizní diagnostiky. Obr. 8.1 představuje proudové propojení, u kterého došlo k natavení a rozpadu středové části svorky propojující zesilovací vedení AlFe 240 a Cu 120. Na obr. 8.2 můžeme vidět teplem poškozené svorky věšáků na střídavé trakci.



Obr. 8.1: rozpadlá svorka proudového propojení



Obr. 8.2: teplem poškozená svorka věšáku

9. Předcházení havarijním stavům

Při pravidelném měření na stejnosměrné trakci z počátku letošního roku jsme zjistili teplotu na jednom úsekovém odpojovači přes 110°C. Po našem upozornění příslušnému zaměstnanci OŘ na místo dorazila denní směna OTV a zjistila, že příčinou nadměrného oteplení je nedopnutý ÚO – nože nebyly dokonale zasunuty do kapsy odpojovače. Bylo provedeno seřízení táhla motorového pohonu a dopnutí ÚO, provedena funkční zkouška s táhlem s ED s výsledkem bez závad.



Obr. 9.1: porucha úsekového odpojovače

Závěr

Termovizní diagnostika představuje bezkontaktní snímání teplotních polí v podobě termogramů. Ty obsahují kromě samotného obrázku také radiometrická data, tzn., že potřebné vstupní parametry můžeme korigovat i po ukončení měření a zároveň nám umožňují přesné odečítání teplot konkrétních bodů. Protože se jedná o bezkontaktní měření, neomezuje pravidelnou dopravu a nevyžaduje provozní výluky zařízení.

O důležitosti cílené a pravidelné údržby trakčního vedení, jejíž součástí je i diagnostika, není třeba polemizovat. Mnoho „neviditelných“ závad však může představovat potenciální havarijní stav, o ohrožení lidského života nemluvě. Termovizní diagnostika je schopna odhalit takováto místa už ve stádiu, ve kterém lidské oko nedokáže avizovanou (zvýšenou teplotou) poruchu rozpoznat, a včasným zásahem můžeme výše zmíněným nebezpečím předejít. Za tři roky praxe mohu konstatovat, že termovizní diagnostika a její výsledky předčí má očekávání. Ročně bývá jen na tratích SŽDC nalezeno zhruba šedesát míst s nadměrným oteplením. Samozřejmě, že některá se při pravidelných měřeních opakují. Obecně se většinou jedná o prvky trakčního vedení na stejnosměrné trakci. Přes počáteční nedůvěru,

zejména v přesnou lokalizaci, jsme však dokázali, že tato diagnostika má své opodstatnění. Důkazem je i to, že kromě pravidelné kontroly tratí SŽDC (dvakrát ročně) provádíme také kontrolu tratí ŽSR. Díky otevřenosti systému a vlastnímu softwaru máme možnost neustálého zdokonalování, podle přání a požadavků našich zákazníků.

Seznam použitých zkratk

| | |
|-------|---|
| ČD | České dráhy, a.s. |
| EPTZ | elektrická pevná trakční zařízení |
| INS | inerciální navigační systém |
| IR | infračervené záření |
| MVPTZ | měřicí vůz pevných trakčních zařízení |
| MVTV | montážní vůz pro údržbu a opravy trakčního vedení |
| OŘ | oblastní ředitelství |
| OTV | opravna trakčního vedení |
| SŽDC | Správa železniční dopravní cesty, státní organizace |
| THV | termovize |
| TÚDC | Technická ústředna dopravní cesty |
| ÚO | úsekový odpojovač |
| ŽSR | Železnice Slovenské republiky |

Seznam použitých informačních zdrojů

- [1] *Wikipedie* [online], c21.6.2013 [cit. 2013-07-04], Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana>.
- [2] Uživatelská příručka FLIR Systems, Publ No. 1558546, Revision a288, June 30, 2008.
- [3] Kolektiv autorů TÚDC. *Technická ústředna dopravní cesty 1993-2003*, Praha: Vydavatelství a nakladatelství Ing. Václav Svoboda – NN (III), 2003. 135 s. ISBN 80-85104-90-3.
- [4] KAŠTURA, Jiří. Diagnostika trolejového vedení. *Vědeckotechnický sborník ČD, č. 34/2012*, Dostupné z <<http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts34/3406.pdf>>.

Praha, listopad 2013

Lektorovali:

Ing. Vladivoj Výkruta, CSc. (VUZ, a.s.)

Ing. Tomáš Krčma (EŽ Praha, a.s.)