

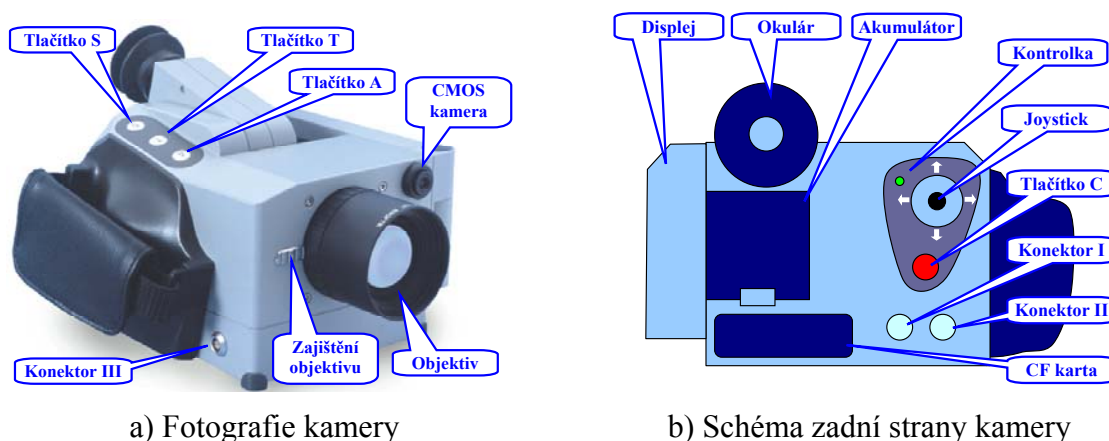
PRÁCE S TERMOVIZNÍ KAMEROU VARIOCAM

Doc. Ing. Milan Pavelek, CSc.

Přednáška je zaměřena na práci s termovizní kamerou VarioCAM [2]. Kapitoly obsahují *popis kamery, propojení kamery, možnosti ovládání kamery a ukázky termovizních měření*. Cílem přednášky není nahradit manuál k termovizní kameře, ale uvést obecněji možnosti termovizních systémů dané kategorie.

1. Popis kamery

Termovizní kamera VarioCAM, viz obr. 1 umožňuje pracovat na stálém místě v laboratoři či v provozu, ale její předností je především možnost mobilního využití při práci v terénu. Pro kvalitní záběry v terénu je vhodné používat stativ. Při transportu kamery je třeba chránit především objektiv a nejlépe je provádět transport ve speciálním kufru. Pro práci v laboratoři je vhodný síťový adaptér, pro práci v terénu jsou vhodné akumulátory s nabíječkou. Termogramy pořízené v terénu lze uchovávat na vyměnitelném paměťovém médiu nebo přímo v notebooku. Propojení kamery s počítačem či jiným zařízením je popsáno v kap. 2.



Obr. 1 Termovizní kamera VarioCAM firmy Jenoptik [2]

K tělesu kamery je připojen vyměnitelný objektiv (případně i s předsádkou), okulár pro pozorování barevného termogramu a také sklápěcí barevný LCD displej, který umožní alternativní pozorování termogramu. Na kameře jsou ovládací tlačítka *A, T, S, C* a pákový ovladač (joystick). Těmito prvky lze zajistit velké množství funkcí kamery, jelikož se rozlišuje krátký či dlouhý stisk tlačítek i pákového ovladače a navíc lze některá tlačítka naprogramovat na různé aktivity. Kamera má také konektory *I, II, III*, které umožní její připojení k jiným zařízením nebo k napájecímu zdroji. Některá propojení se provádějí prostřednictvím tzv. výstupního boxu. Pro možnost záznamu barevného obrazu v oblasti světelného záření je kamera vybavena jednoduchou CMOS kamerou s ručním ostřením obrazu.

2. Propojení kamery

Kamera může být napájena buď akumulátory, nebo síťovým adaptérem, nebo také z počítače prostřednictvím tzv. rozhraní FireWire. Adaptér lze připojit ke kameře přímo, a to ke konektoru *I* (není-li připojen FireWire), prostřednictvím spojky ke konektoru *II*, nebo též

přes vstupní box, je-li používán. Napájení prostřednictvím FireWire z notebooku obvykle není možné, a proto je třeba použít současně akumulátor nebo síťový adaptér.

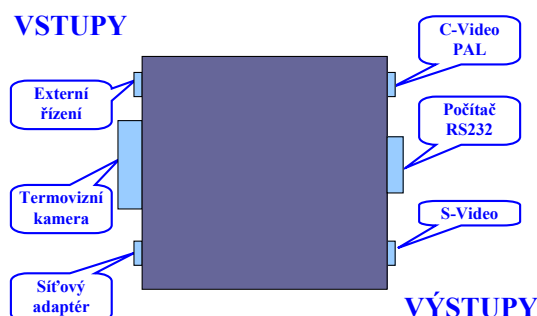
Rozhraní FireWire (IEEE1394-Interface) slouží pro rychlý přenos dat mezi kamerou a počítačem či notebookem, a to s frekvencí až 50 obrázků za sekundu, což bývá postačující i pro záznam videosekvencí. Toto rozhraní se připojuje ke konektoru kamery I, umožňuje přenos a záznam dat z kamery do počítače, ovládání kamery, případně i napájení kamery z PC, přičemž vyžaduje instalovat na počítači software *IRBIS-Online* [1].

Výstupní box (obr. 2) umožňuje propojit kameru s počítačem přes rozhraní RS 232, které je však pomalejší než rozhraní FireWire. Tento box se připojuje ke konektoru kamery II, umožňuje přenos a záznam dat z kamery do počítače včetně ovládání kamery, přičemž vyžaduje instalovat na počítači software *IRBIS-Remote* [1]. Kromě připojení k počítači umožňuje výstupní box též výstup obrazu z kamery na TV obrazovku či videorekordér pomocí konektoru C-Video/PAL nebo konektoru S-Video. Na vstupní straně boxu lze připojit i síťový adaptér pro napájení kamery a zařízení pro externí řízení (trigger signal).

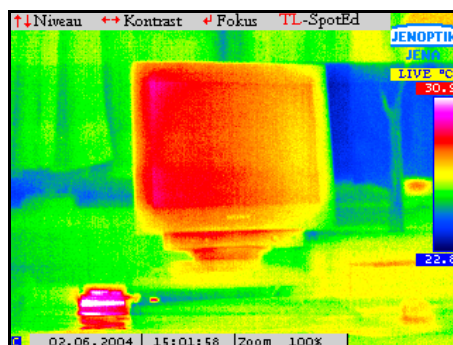
CF karta (CompactFlash-Card) je vyměnitelné paměťové médium s kapacitou až 128 Mb. Při úsporném záznamu termogramů to představuje až 1500 obrázků. Záznam není příliš rychlý a závisí na volitelném množství ukládaných dat. Karta se vkládá do čtecího zařízení na zadní straně kamery a přenos dat do počítače lze provést pomocí čtečky CF karet. Soubory představující termogramy mají speciální formát pro možnost jejich dodatečného zpracování, a to na počítači nebo i v termovizní kameře. Různí výrobci kamer používají různé formáty souborů s termogramy, firma Jenoptik [2] a InfraTec [1] používají soubory typu *.sid nebo novějšího typu *.irb. Tyto soubory umožňují zaznamenávat termogramy včetně videosekvencí s různým množstvím dalších definovaných dat. Kromě termogramů lze na kartu ukládat obrazy *.bmp z CMOS kamery, obrazy *.pcx (obr. 3) aktuálního stavu displeje kamery (s rozlišením displeje), případně i zvuk *.wav¹. Tyto soubory se ukládají jednotlivě nebo automaticky volitelně s termogramem. Také je možné zaznamenávat na kartu firemní či uživatelskou konfiguraci kamery (*.bin).

3. Ovládání kamery

Práce kamery je řízena *speciálním firemním software* [1], který lze i se stejným hardware vyvíjet. Nové verze je možné získat od výrobce a nahrát do kamery. Zapnutí kamery se pro-



Obr. 2 Schéma výstupního boxu kamery VarioCAM



Obr. 3 Úvodní obraz kamery VarioCAM

Niveau - Úroveň teplotní škály

Kontrast - Kontrast teplotní škály

Fokus - Zobrazí menu fokusování

SpotEd - Zobrazí menu pro editaci měřicího bodu/oblasti (vpravo dole je prostor pro měřené hodnoty)

¹ Při práci se zvukem je možné ke konektoru kamery III (viz obr. 1) připojit sluchátka.

vede dlouhým stiskem tlačítka *C*, viz obr. 1b. Kamera se nejdříve temperuje na provozní teplotu, provedou se potřebné kalibrace a nakonec se na displeji, viz obr. 3, objeví aktuální termografický obraz (zde je uveden termogram počítače), včetně volitelných obrazových prvků. Mezi volitelné obrazové prvky patří *Menu nápovědy* (nahore), které informuje o možných aktuálních činnostech s využitím tlačítek a pákového ovladače. Dalším volitelným obrazovým prvkem je *Teplotní škála* (vpravo), nad kterou je volitelný prvek *Mód práce* kamery (Live, Stop apod.) a firemní znak. V dolní části obrazu se nachází písmeno značící činnost právě aktuálního zařízení (C-kamera, W-práce s CF kartou apod.), vedle pak mohou být další volitelné obrazové prvky, a to *Datum*, *Čas*, případně také *Informace* o nastavených parametrech kamery. Krátkým stiskem tlačítka *C* můžeme měnit palety termogramu, dlouhým stiskem lze kameru vypnout (vyžaduje to potvrdit stiskem pákového ovladače).

Jednotlivá tlačítka mají jisté stálé funkce, pokud není tato stálá funkce změněna v menu nápovědy. Tlačítka *A* slouží obvykle k automatickému vyrovnání obrazu (lze naprogramovat, co se tím myslí), tlačítka *T* definuje měřicí body, tlačítka *S* zmrazí obraz a umožní případné uložení obrazu, tlačítka *C* umožní kromě výše uvedených funkcí také návrat o krok zpátky (Escape) a pákový ovladač umožní pohybovat kurzorem, přičemž krátkým stiskem potvrzuje správnou volbu.

Dlouhým stiskem pákového ovladače se v horní části obrazu (místo „Menu nápovědy“) zpřístupní *Hlavní menu* umožňující měnit parametry práce kamery. Schematicky je Hlavní menu včetně rozbalovacích *Vedlejších menu* zobrazeno na obr. 4. Některé položky Vedlejších menu aktivují přímo danou funkci (při stálé aktivaci je položka zatržena ✓), jiné položky umožní rozbalit další menu (▶), nebo otevřít formulář pro zadávání veličin (...). Důležité funkce Vedlejšího menu jsou popsány v dalším textu.

Obraz	Data	Měření	Nastavení
CMOS kamera	Nahrát data ...	Maximum	✓ Zvětšení rozlišení
Paleta ▶	Zpráva	✓ Minimum	Kalibrace ▶
Obrazové filtry ▶	Textový editor ...	Emisivita ...	Automatika ▶
Diferenční obraz ▶	Formát uložení ...	Teplota okolí ...	Tlačítka A ▶
Obrazové prvky ▶	Výmaz dat ...	Transmitance ...	Vyvážení ▶
Izotermy ...	Galérie	Teplota prostředí ...	Alarm ...
Úroveň / Kontrast ...	Vytvořit adresář ...	Tabulky materiálů ...	Konfigurace ▶
	Formátovat kartu ...	Kalibrace uživatele ▶	Systém ▶
	BG - paměť		
	IR - video ▶		

Obr. 4 Hlavní a vedlejší menu kamery VarioCAM

Ve vedleším menu *Obraz* najdeme možnost přepnutí do režimu práce s CMOS kamerou, možnost nastavení různých barevných palet termogramu (s širším výběrem, než pomocí tlačítka *C*) a možnost zařazení různých obrazových filtrů (filtr vypnutý, slabý, střední, silný). Dále zde můžeme zapínat či vypínat volitelné obrazové prvky na displeji kamery (včetně možnosti změny písma), můžeme definovat režim práce až s 5 izotermami v termogramu a také zde můžeme definovat pevné nastavení střední úrovně teploty v termogramu a kontrastu obrazu (rozsahu teplot okolo střední úrovně).

Ve vedleším menu *Data* najdeme možnost nahrávání obrazů z CF karty do kamery, které lze dále zpracovávat. Poměrně důležitá je položka „Formát uložení“, která definuje, co vše a jak se má najednou ukládat na CF kartu při použití tlačítka *S* (např. termogram, obraz ve viditelném spektru, zvuk, definiční data). Další položky v menu *Data* umožní výmaz dat na CF kartě, vytvoření adresáře na CF kartě a formátování této karty, přičemž je zde i položka „Galérie“ k prohlížení uložených obrazů.

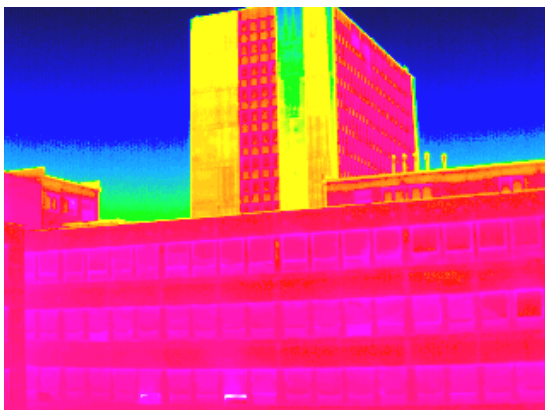
Ve vedlejším menu *Měření* definujeme data pro správnou interpretaci termogramu. Jsou zde položky „Maximum“ a „Minimum“, které umožní v obraze nebo v definovaných oblastech zobrazovat v reálném čase maximální či minimální teplotu. Dále můžeme v uvedené verzi software nastavit hodnotu emisivity ε , zjištěnou teplotu okolí (radiační teplotu T_r), transmittanci prostředí t_L a teplotu prostředí T_L . Rovněž je zde k dispozici tabulka emisivit některých materiálů.

Ve vedlejším menu *Nastavení* lze pomocí položky „Zvýšené rozlišení“ zapnout či vypnout tuto funkci, která umožní zdvojnásobit počet obrazových bodů (ale zpomaluje to záznam termogramů). Prostřednictvím položky „Kalibrace“ lze vybrat používaný objektiv a rozsah teplot. Pomocí položky „Automatika“ lze zadávat automatické nastavování střední úrovně teploty v termogramu nebo automatické nastavování kontrastu obrazu (rozsahu teplot okolo střední úrovně) a také automatický záznam zvoleného počtu termogramů na CF kartu, a to v nastavených časových intervalech a od nastaveného času. Položka „Tlačítko A“ umožní definovat funkce automatického vyrovnání obrazu, přičemž lze provádět automatické vyvážení obrazu (homogenizaci) nebo automatický obraz (střední úroveň teploty a kontrast). Další položkou v menu *Nastavení* je „Vyvážení“, které obsahuje možnosti vyvážení obrazu uzávěrkou kamery nebo objektem (kamera registruje obraz vůči referenčnímu obrazu objektu), přičemž lze definovat také interval automatického vyvažování. Pomocí položky „Alarm“ lze nastavit jeden či dva prahy teplot, při jejichž překročení (v definovaném směru) dojde buď k uložení obrazu na CF kartu, nebo k vizuálnímu upozornění, nebo také k vyslání signálu na externí zařízení (trigger signal). Položka „Konfigurace“ umožní uložit na CF kartu nebo nahrát zpět uživatelskou či firemní konfiguraci kamery, přičemž je zde také možnost nastavení funkcí prováděných vždy po zapnutí kamery. Poslední položkou v menu *Nastavení* je položka „Systém“, ve které lze nastavit datum a čas, jazyk pro komunikaci s kamerou, jednotky teploty, svítivost displeje, zapnutí či vypnutí rozhraní RS 232 a také zjistit stav akumulátoru nebo též systémové informace.

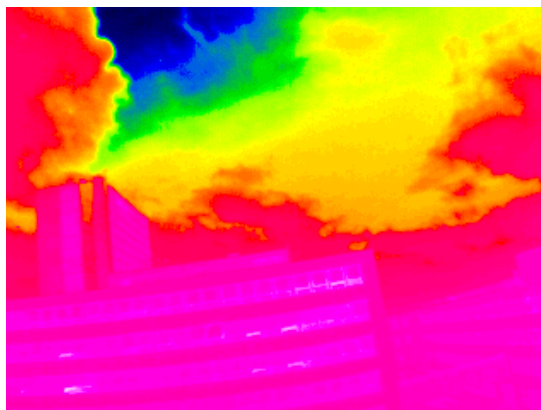
Termovizní kameru VarioCAM lze použít se speciální počítačovou kartou a se software *IRBIS-Process* [1] pro řízení technologických procesů. Pro kvalitní zpracování termovizních záznamů v počítači si lze pořídit software *IRBIS-Professional* [1].

4. Ukázky termovizních měření

Termovizní měření se s výhodou uplatňuje při zkoumání tepelných ztrát budov. Na obr. 5 je termogram budov získaný standardním objektivem (32° H x 25° V), kde je zřejmé, že na



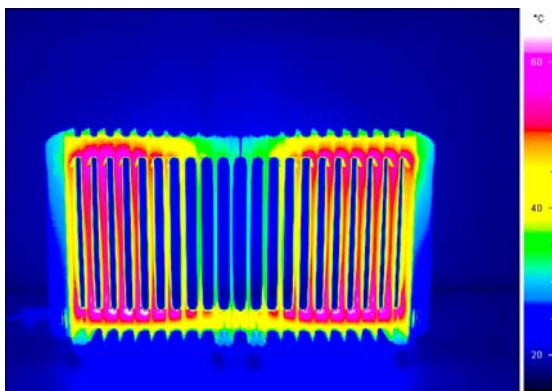
Obr. 5 Termogram budov získaný standardním objektivem



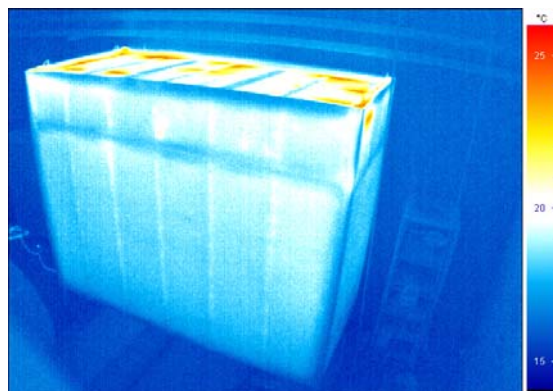
Obr. 6 Termogram budov získaný širokoúhlým objektivem

některých částech výškové budovy jsou tepelné ztráty díky tepelným izolacím menší. Na obr. 6 je podobný termogram pořízený širokoúhlým objektivem ($64^\circ \text{H} \times 50^\circ \text{V}$) a s poněkud odlišnou teplotní šálou. Tento objektiv umožní pořizovat termogramy velkých objektů i zblízka, ale způsobuje také geometrické zkreslení obrazu. Na obr. 6 vidíme kromě tepelných zdrojů v různých oknech budovy také nerovnoměrné rozložení teplot na obloze, kde nižší vrstvy oblačnosti mají vyšší teploty a nejnižší teplotu (nejtmavší barvu) má jasná obloha. Kromě standardního a širokoúhlého objektivu může kamera VarioCAM pracovat také s teleobjektivem ($16^\circ \text{H} \times 12^\circ \text{V}$), případně mohou být na standardní objektiv instalovány předsádky (0,17x nebo 0,5x). Kamera VarioCAM má také funkci digitální ZOOM, ale jedná se pouze o zvětšení obrazu na displeji a v hledáčku kamery, přičemž ukládaný obraz je vždy původní, nezvětšený.

Příklad termogramu dvou článkových elektricky vyhříváných otopných těles s olejovou náplní je uveden na obr. 7. Je zřejmé, že tělesa mají i v ustáleném stavu (po dvou hodinách) velice nerovnoměrnou teplotu a značná část jejich povrchu je nevyužita. Uvedený termogram byl pořízen ve speciální rozlehlé uzavřené místnosti, vhodné pro termovizní výzkum různých tepelných zdrojů či jiných zařízení. Všechny stěny místnosti (včetně podlahy a stropu) jsou natřeny matnou černou barvou a mají konstantní teploty povrchů, přičemž v místnosti nejsou žádné jiné tepelné zdroje. Přes taková opatření je na termogramu otopného tělesa (při jeho zpracovávání na počítači) nepatrně znát jistý odraz otopného tělesa od podlahy místnosti před tímto tělesem. Zpětné působení uvedeného odrazu otopného tělesa je však zcela zanedbatelné, a proto můžeme zkušební místnost považovat za prostor s homogenním rozložením radiční teploty, což podstatně zjednodušuje vyhodnocování takto získaných termogramů.



Obr. 7 Termogram dvou otopných těles získaný standardním objektivem



Obr. 8 Termogram vnějších stěn zkušební místnosti získaný širokoúhlým objektivem

Na obr. 8 je pak uveden termogram vnějších stěn zkušební místnosti pro výzkum teplotních polí při různých způsobech vytápění. Z termogramu je zřejmé, že strop místnosti má větší tepelné ztráty než prakticky stejně izolované stěny místnosti, a to především díky teplejšímu vzduchu v horní části tohoto vytápěného prostoru.

5. Seznam literatury

- [1] InfraTec, Dresden, Deutschland - firemní materiály. <http://www.InfraTec.de/>.
- [2] Jenoptik, Jena, Deutschland - firemní materiály. <http://www.jenoptik-los.de/>.