

**MASARYKOVA UNIVERZITA**  
Lékařská fakulta



**Infračervené záření v současnosti**

Bakalářská práce

**Vedoucí bakalářské práce:**

MUDr. Věra Maryšková

**Autor**

Magda Stupňánková

Optometrie

Brno, duben 2009

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce shrnuje dosavadní poznatky o infračerveném záření, jeho vlastnostech, složení, historii objevu. Velká část je věnována působení IR záření na lidský organizmus, především na oko. Dále se zabývá možnostmi měření IR záření, které tělesa a živé organismy vyzařují. Seznamuje s termografií jako bezkontaktním měřením povrchové teploty těles, typ termovizních systémů a jejich využití v odvětvích lidských činností. V kapitole empirické měření jsou obsaženy snímky s komentáři a závěrem o samotném měření s tímto systémem.

## **ANNOTATION**

This bachelor work summarizes current knowledge about infrared radiation, its properties, composition, history of discovery. A large part is devoted to action of IR radiation on the human body particularly eye. In the next chapter the possible measurement of IR radiation the body and living organisms emit. Acquainted with thermography as a contactless measurement of surface temperature of solids thermovision type systems and their applications in the sectors of human activities. In Chapter empirical measurement contained pictures with comments and results of the measurement.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala paní MUDr. Věře Maryškové, vedoucí mé bakalářské práce, za čas, který věnovala konzultacím, odbornému vedení a poskytování cenných rad, které posloužily k řešení dané problematiky.

Dále bych ráda poděkovala panu pplk. doc. Ing. Teodoru Balážovi, CSc. za věnovaný čas a množství užitečných připomínek k řešené problematice.

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci IR záření v současnosti vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podle pokynů konzultanta a vedoucího bakalářské práce.

V Brně

Magda Stupňánková

## OBSAH

1. Úvod .....	str.6
2. Elektromagnetické záření a světlo .....	str.7
2.1 Slunce a umělé zdroje světla .....	str.10
3. Infračervené záření .....	str.14
3.1. Objev IR záření .....	str.15
3.2. Země jako vysílač IR záření .....	str.16
3.3. Zdroje IR záření .....	str.17
3.4. IR záření jako tepelné záření .....	str.20
3.5. Vliv IR záření na lidské tělo .....	str.20
3.6. Působení infračerveného záření na zrak .....	str.22
3.6.1. Vliv infračerveného záření na oko s progresivní myopií .....	str.24
3.7. IR záření a lasery .....	str.25
4. Termografie a termovize .....	str.28
4.1. Historie termovizního měření .....	str.28
4.2. Termografie .....	str.28
4.3. Termovizní měření .....	str.30
4.4. Záření černého tělesa a jeho zákony .....	str.31
4.5. Historie termokamery .....	str.34
4.6. Termokamera Fluke Ti30 .....	str.36
4.7. Detektory .....	str.39
5. Využití termovizního měření v praxi .....	str.42
5.1. Oblast průmyslu .....	str.42
5.2. Oblast armády a civilní složky .....	str.43
5.3. Oblast zdravotnictví .....	str.44
6. Empirické měření .....	str.46
7. Závěr .....	str.51
8. Seznam použité literatury	

## 1.Úvod:

Cílem mé absolventské práce je přiblížit využití infračerveného záření a termovizi do oboru optiky.

Infračervené záření je často považováno za „tepelné záření“, avšak faktem je, že povrchy těles zahřívá absorpce libovolného elektromagnetického záření. Záření pro člověka neviditelné může pomáhat, ale i škodit. Velice využívané je v medicíně, například laser, který je možné použít při mnoha operacích.

K poškození oka zářením dochází tím, že nastává koagulace bílkovin, nekrosa tkáně, jejich odumření anebo se tvoří jizva na sítnici a dochází k výpadkům zorného pole.

Toto záření se využívá pro přenos informací na krátkou vzdálenost, nejčastěji pro mobilní telefony či dálkové ovladače.

Termovizní měření se nazývá proces využívající infračervené záření k zobrazení teplotního rozložení na povrchu pozorovaných předmětů. Toto měření může odhalit mnoho tepelných povrchových nerovností měřeného objektu. Výhodou je právě bezdotykové měření teploty - infračervená pyrometrie, takže nedochází k ovlivnění měřeného objektu měřicím přístrojem, jak je tomu u kontaktních metod. Využití termovize je nejčastější ve stavebnictví, průmyslu, ale i v lékařství, v armádě, při hledání osob, kontrola izolačních vlastností budov, CO<sub>2</sub> laser k obrábění.

Nejvíce informací o termovizním měření v dnešní době získáme v komerčním světě.

Pokusím se zaměřit na jeho využití i z pohledu zraku a oční optiky.

## 2. Elektromagnetické záření a světlo

Infračervené záření a světlo jsou součástí elektromagnetického spektra, obsahují svůj rozsah vlnových délek a tvoří spektrum elektromagnetického záření. Podle vlnové délky nebo frekvence elektromagnetického záření rozlišujeme několik druhů elektromagnetického vlnění. Mezi jednotlivými druhy není ostrá hranice, přechody jsou plynulé nebo se oblasti jednotlivých druhů záření i překrývají.

Rozdělení záření:

- I) rozhlasové vlny - dlouhé, střední, krátké
- II) mikrovlny - mikrovlnné záření
- III) infračervené vlny - infračervené záření
- IV) ultrafialové vlny - ultrafialové záření
- V) paprsky X - rentgenové záření
- VI) paprsky  $\gamma$  - kosmické a radioaktivní záření

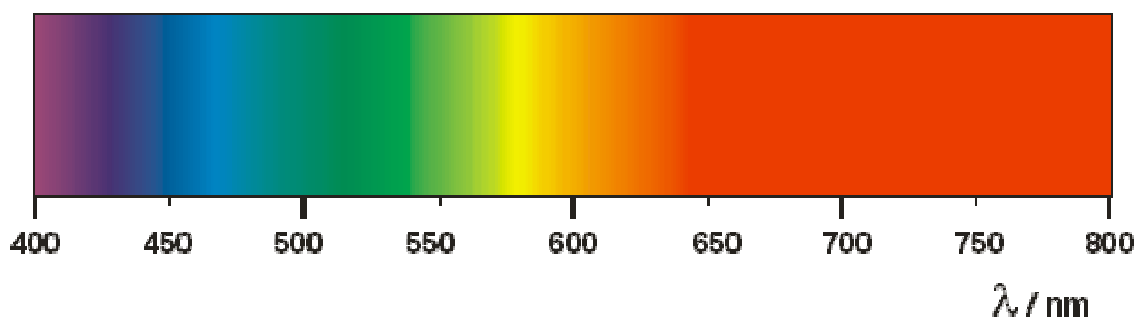


Obr. 1 Viditelné, ultrafialové a infračervené záření

Optika je věda, která studuje zákonitosti světelných jevů, děje vzájemného působení světla a látky. V některých oblastech vědy a techniky může být světlem nesprávně chápáno i elektromagnetické záření libovolné vlnové délky. Světelnou vlnu můžeme popsat pomocí třech základních charakteristik (a elektromagnetického vlnění vůbec) amplituda, frekvence a polarizace.

Sluneční světlo je podmínkou života. Bez světla nevidíme nic, ale naopak při nadměrném množství světla může dojít ke sníženému vidění a dokonce až k nevratnému poškození oka. Střídání světla a tmy má vliv na mnohé fyziologické funkce člověka. I zelené rostliny využívají energii fotonů viditelné části slunečního

spektra k přeměně jednoduchých minerálních látek ( $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{CO}_2$ ) na složitější organické látky. Základní proces ke vzniku organických látek je fotosyntéza. Pro zrak je velice významná i intenzita osvětlení. Proces vidění je umožněn světločivými elementy, které se nacházejí na sítnici oka. Citlivost lidského oka na vlnové délce se pohybuje v rozmezí od  $0,1 \times 10^{-6}$  luxů do  $10^5$  luxů, jeho schopnost adaptace na různou intenzitu osvětlení je velmi rozsáhlá.



Obr.2 – Spektrum viditelného záření

Na fyzikální podstatu světla se snažili vědci odpovědět už od pradávna. Samozřejmě se naskytá otázka: jak vlastně vidíme? Spor o povaze světla spolu soupeřily dvě teorie v druhé polovině 17. století. První teorie popisuje světlo jako souhrn drobných částic, které se v pohybují prostoru. Druhá teorie vyznává přesvědčení, že světlo tvoří vlny. Spor dvou velkých badatelů, Christiana Huygense a Isaaca Newtona, zda světlo sestává z vln či částic, vychází z přijaté interpretace o dualismu vlna-částice.

Nakonec tedy rozhodujícím krokem bylo rozpoznání elektromagnetické podstaty světla. Tuto novou teorii vytvořil v letech 1855 – 1865 Skot James Clark Maxwell (1831-1879). Čtyřmi diferenciálními rovnicemi určil základní vlastnosti elektromagnetických jevů. Studium těchto rovnic dospěl k závěru, že „světlo a magnetismus jsou jevy téže podstaty a světlo je elektromagnetický vzruch, který se šíří polem podle elektromagnetických zákonů“ (Pleskotová, 1987, s.22). Tak to doslova stojí v Maxwellově *Dynamické teorii elektromagnetického pole* (1864).[1]

Maxwellova teorie naprosto uspokojivě vysvětluje všechny optické jevy vlnové povahy - zákon přímočarého šíření světla, lom, odraz i ohyb světla, interferenci i disperzi = rozklad světla. Vytváří předpoklady i pro objev nových úkazů, jako třeba rádiových vln. Existence éteru byla vyvrácena Michelsonovým - Morleyovým pokusem.



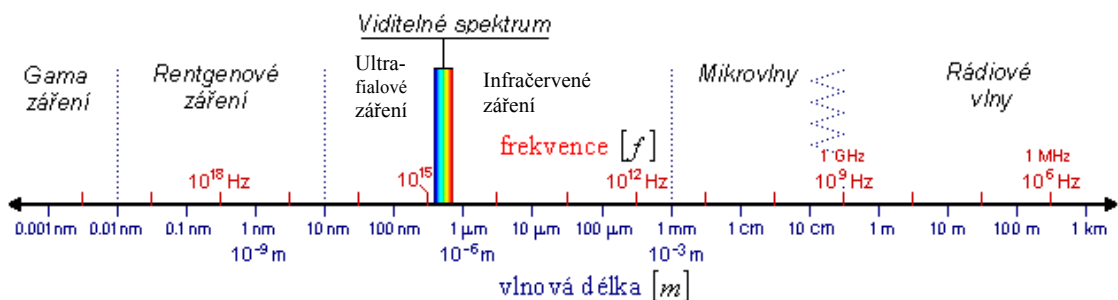
V mechanické teorii světelných vln byl éter nevyhnutelný, jelikož bez hmotného prostředí by vlny nemohly existovat. Situace se zcela změnila, když bylo prokázáno, že světlo je elektromagnetické vlnění. Kolem těles elektricky nabitých existuje elektromagnetické pole vždy nezávisle na tom, zda éter existuje, nebo ne. A pokud se elektrický náboj začne pohybovat, změny elektromagnetického pole vyvolávají elektromagnetické vlny.

Maxwell éter nezavrhl – on jej prostě nepoužil, protože éter nepotřeboval, ale mnoho fyziků ještě dlouho nedokázalo přijmout fakt, že světelné vlny nevyžadují ke svému šíření žádné prostředí. Spolehlivě to prokázal až teprve roku 1887 americký fyzik Albert Abraham Michelson (1852 - 1931). Za pomoci přístroje zvaného interferometr se pokusil změřit rychlost světla „zbržděného“ éterem a porovnal ji s rychlostí světla ve vakuu. Zjistil, že rychlost světla je vždy táz : 300 000 kilometrů za sekundu, nezávisle na směru pohybu světla vzhledem k hypotetickému éteru.

Dvanáct let po vyslovení Maxwellovy teorie ji německý fyzik Heinrich Hertz (1857-1894) experimentálně prokázal. „Světlo je elektrický jev“, (Pleskotová, 1987, s.23) prohlásil roku 1899 výkvetu německé vědy shromážděnému v přednáškovém sále polytechniky v Karlsruhe, kde předvedl svůj pokus s dipólem. „Všechno světlo – sluneční jas, záře svíčky i světélko, které vydává světluška. Kdyby ze světa zmizela elektřina, bude všude tma.“ (Pleskotová, 1987, s.23).[1]

A teď bylo konečně jasné, co to vlastně je světlo: elektromagnetické vlnění. Světlo je tedy elektromagnetické vlnění, jenže elektromagnetické vlnění není zdaleka jen světlo. Existují ještě další vlny, které mají stejné vlastnosti – šíří se stejnou rychlostí, odrážejí se, lámou se a ohýbají – ale nejsou vidět.

Z toho vysvětlení musíme tedy zdůraznit, že světlo je vlna, ale také částice. Vlna nebo částice jsou jen různé pohledy na tentýž jev, a proto jsou to představy, které potřebujeme, abychom mohli vlastnosti světla úplně popsat.[11]



Obr. 3 – Spektrum elektromagnetických vln

## 2.1 Slunce a umělé zdroje světla

V případě rozeznání barevných odstínů, jasu a kontrastu předmětu je potřeba osvětlení blízké bílému světlu a vysoká osvětlenost předmětu. Pokud neodpovídá intenzita osvětlení barvě bílého světla, je vnímáno jako nepříjemné a nepřirozené, což je jednou z příčin stížností na výbojkové a zářivkové osvětlení.

Přírodní a umělé zdroje osvětlení:

Přirozené osvětlení - zdrojem je Slunce, obloha, záření odražené od předmětů a ploch. Denní venkovní světlo je s denní a roční dobou velmi proměnné a pohybuje se v rozsahu od 1000 až do 100000 luxů (obr.4). Denní světlo je zejména pro své příznivé vlastnosti – dokonale se rozptyluje v prostoru. Umělé osvětlení se používá tehdy, když hodnota přirozeného osvětlení klesne pod stanovenou mez.

Světelný zdroj	Osvětlení/lux
Osvětlení v noci při úplňku	$2 \cdot 10^{-1}$
Osvětlení k pohodlnému čtení	50
Kancelářské osvětlení	300-400
Výborné osvětlení v místnosti	700
Sluneční světlo, hodinu před západem	1000
Denní světlo, zataženo	3000
Slunný den ve stínu stromu	10 000
Ostrý sluneční svit v poledne	100 000

Obr.4 Osvětlení

Požadavky na dobré osvětlení: optimální intenzita, rovnoměrnost, směr, plastické osvětlení, stálost, estetika, barva světla, místní osvětlení, kombinované osvětlení (zářivky, halogeny aj.), celkové osvětlení.

Umělé zdroje světla:

- " zdroje umělého osvětlení (ty vysílají i tepelné záření)
- " výbojkové (zářivky a výbojky)
- " teplotní (žárovky)
- " luminiscenční

Zářivky jsou např. rtuťové výbojky s poměrně malým rtuťovým tlakem. Svítí velkou plochou, ale relativně malým jasem a nejsou zdrojem tepelné energie. V zorném poli člověka nemají být zářivky bez krytu ve směru pohledu, ale měly by být opatřeny stínidly nebo zakrytou mřížkou. Protože spektrum jejich světla není spojitě, rychle se střídá rozsvícení, zhasnutí a toto přerušování vede ke vzniku stroboskopického efektu

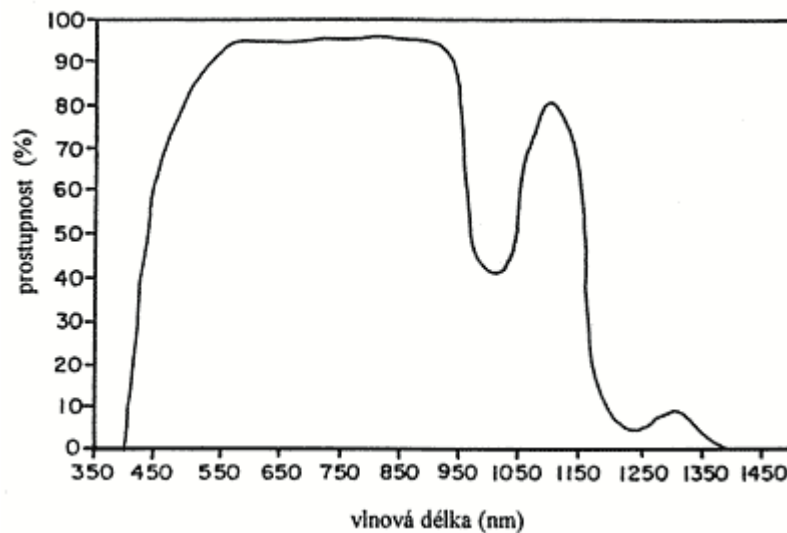
pohybujících se předmětů. U modernějších zářivek by ke stroboskopickému efektu nemělo docházet. Zářivkové osvětlení vyvolává u některých lidí subjektivní potíže (únava, podráždění očí a bolesti hlavy) - příčinou může být fotochemický smog způsobený UV zářením, které denní zářivky emitují na nečistoty přítomné v ovzduší např. prach, smog a cigaretový kouř.

Žárovky jsou nejvyužívanějším zdrojem světla pro práci člověka. Světlo zde vzniká jako součást teplotního režimu, který ovlivňuje mikroklima místnosti. Světelný tok je nepřetržitý a plynulý. Nepřetržitý tok může být slabší nebo silnější, ale pořád vydává světlo. Pro snížení povrchového jasů zdroje a oslnění se skleněná baňka matuje. Vláknó žárovky má teplotu přibližně 2700°C. Energetická křivka záření žárovky má počátek až na hranici UV a viditelného záření na hodnotě 380 nm a dosahuje svého vrcholu ve vlnových délkách okolo 1100 nm v oblasti IR-A infračerveného záření. Viditelná jen asi dvacetina záření, které žárovka vydává, devadesát pět procent záření spadá do infračerveného oboru ( má větší vlnovou délku než 0,8  $\mu\text{m}$  ).

Světelné zdroje mohou mít vliv na náš život již od prvních dětských let. Je pravděpodobné, že jedna z příčin myopie v předškolním věku spočívá ve zvýšení teploty v oblasti jeho ohniska na sítnici způsobeném rozsvíceným světlem v místnosti, kde dítě spí.[17]

Luminiscenční zdroje: světlo vzniká jako přímá přeměna elektrické energie na světelnou.

Halogenové světlomety vydávají kromě světelného toku i infračervené záření. Existuje určitá „bezpečná vzdálenost“ od halogenového světlometu, která je přímo úměrná době expozice např. při expozici po dobu 10 s je tato vzdálenost 0,55 m. Při krátké expozici může dojít k poškození oka pouze u extrémně krátké vzdálenosti od světlometu. Bezpečná vzdálenost při expozici delší než 1000 s by měla být 5 metrů.



Obr.5 Spektrum záření dopadající na sítnici lidského oka (Pitts, 1980)<sup>[17]</sup>.

Z grafu na obr.5 vidíme, že na sítnici nedopadá pouze světelné záření ve viditelné oblasti spektra, ale také neviditelné složky krátkovlnného UV záření a dlouhovlnného IR záření, které jsou přilehlé viditelnému spektru. Energie tohoto záření se v ohnisku z velké části transformuje na energii tepelnou, která je potřebná k iniciaci řady fotochemických a fotoelektrických dějů, které umožňují předávání informací do mozku, kde si uvědomujeme zrakový vjem.[17]

Viditelné záření a přilehlá oblast infračerveného záření dopadá přímo na sítnici. Tam je absorbováno hlavně pigmentovým epitelem sítnice a sekundárně absorpčními místy ve fotoreceptorech, makulárním (žluté skvrny) pigmentem a hemoglobinem. Energie zde přijatá je přímo vedena jako teplo do přilehlých fotoreceptorů. Právě toto působení může oku uškodit. [3]

I při použití UV filtrů v korekčních nebo slunečních brýlích dopadá do oka IR záření.

### 3. Infračervené záření

Infračervené záření se dělí na jednotlivá pásma. Toto dělení ovšem není jednoznačně dané a v různých pramenech bývá uváděno různě. Zaujímá oblast mezi nejkratšími radiovými vlnami ( $\lambda < 10^{-3}$  m) a viditelným světlem ( $\lambda > 780$  nm, což odpovídá červenému konci viditelného spektra).

V současné době se infračervené IR (tak bylo nazváno po původním označení jako ultračervené) dělí z technologického hlediska podle vlnového rozsahu na pásma A, B, C.

Jedno schéma je například toto:

Blízké (near) infračervené záření neboli NIR

- IR-A, vlnová délka 0,76-1,4  $\mu\text{m}$ , definováno podle vodní absorpce (často používané v telekomunikacích u optických vláken)
- IR krátké vlnové délky - short wave - neboli SWIR
- IR-B, vlnová délka 1,4-3  $\mu\text{m}$ , při 1450 nm značně roste vodní absorpce
- IR střední vlnové délky - medium wave – nebo-li MWIR
- IR-C, též prostřední - intermediate-IR nebo-li IIR, 3-8  $\mu\text{m}$
- IR dlouhé vlnové délky - long wave – nebo-li LWIR
- IR-C 8-15  $\mu\text{m}$

Vzdálené - far - infračervené záření nebo- li FIR 15-1000  $\mu\text{m}$

Další často používané rozdělení je toto:

- blízké - 0,7-5  $\mu\text{m}$
- střední - 5-30  $\mu\text{m}$
- dlouhé - 30-1000  $\mu\text{m}$  [9]

Tvoří součást záření laserů a slunečního záření. Zdrojem jsou také sklářské a vysoké pece, oblouková lampa, rtuťová křemenná výbojka a žárovka s wolframovým vláknem. Zdrojem infračerveného záření jsou tělesa zahřátá na vyšší teplotu. Při pohlcování infračerveného záření probíhá tepelná výměna a ozářené těleso se zahřívá např. u infrazářiče topné těleso hřeje, ale nesvítí.

Infračervené záření vyzařují prakticky všechna tělesa. Infračervené záření také mnohem lépe proniká zkaleným prostředím (např. mlhou) než světlo - snímky povrchu Země meteorologickými družicemi.[8]

### 3.1. Objev infračerveného záření

Jeho existenci objevil v r. 1800 britský astronom Sir William Herschel (1738-1822). Optickým hranolem rozložil sluneční světlo na jednotlivé barvy. Roku 1800 při svých experimentech přišel na skutečnost, že teploměr umístěný za červenou oblastí optického spektra ukazuje zvýšenou teplotu.[5] Do rozloženého barevného spektra vložil sadu rtuťových teploměrů. Měřená teplota v místě jednotlivých barev byla vyšší směrem k červené straně spektra. Herschela napadlo posunout teploměr ještě dále, tedy za červený okraj viditelného spektra. Ke svému překvapení zjistil, že zde teplota dosahuje nejvyšších hodnot. To dokazovalo, že zde musí existovat jakési neviditelné záření, které přenáší teplo. A protože se toto záření nachází za viditelným červeným pásem, bylo později nazváno infračerveným (z latinského *infra* = pod).



Obr.6 Objev infračerveného záření<sup>[8]</sup>

Infračervené záření je často považováno za „tepelné záření“. Povrchy těles zahřívá absorpcí libovolného elektromagnetického záření. IR záření zapříčiňuje pouze přibližně 50 % zahřívání zemského povrchu, zbytek je způsoben viditelným světlem.

Objekty při pokojové teplotě emitují nejvíce záření v infračerveném pásmu 8–12  $\mu\text{m}$ . Maximum vyzařování lidského těla je pro vlnové délky cca 10  $\mu\text{m}$ , tj. asi

desetkrát delší než pro viditelné světlo. Lidské oko není citlivé na tyto vlnové délky, protože samo lidské tělo, tedy i nitro oka, září a oko by bylo oslepeno svým vlastním světlem.[10]

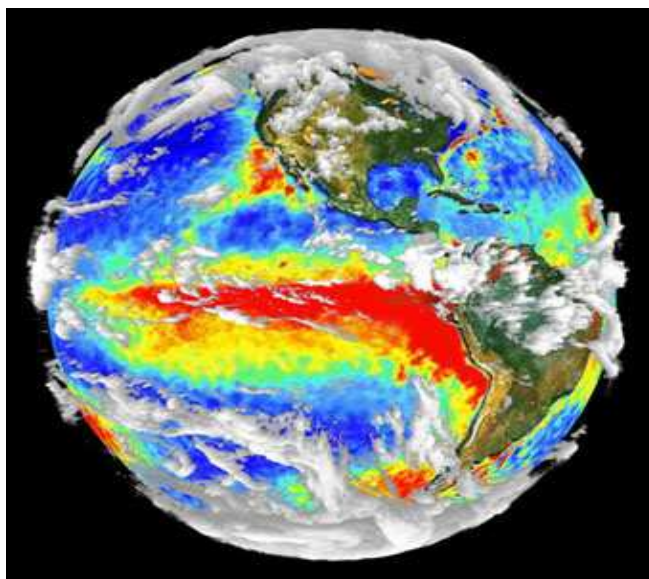
### 3.2 Země jako vysílač infračerveného záření

Zemský povrch absorbuje viditelné záření ze Slunce a vyzařuje mnoho energie jako infračervené záření přes atmosféru zpět do vesmíru. Některé plyny v atmosféře, zejména vodní pára, absorbují toto infračervené záření a vyzařují je zpět ve všech směrech včetně zpět k povrchu Země. Podle Wienova zákona (viz kap.4.3) Slunce, které má povrchovou teplotu 6000 K, vyzařuje v rozmezí kratších vlnových délek (UV, viditelné a začátek IR asi do 500 nm), kdežto Země (teplota  $-18^{\circ}\text{C}$ , pokud by nebylo skleníkového efektu) vyzařuje jen v IR oblasti (maximum nad  $10\ \mu\text{m}$ ). Tento skleníkový efekt udržuje atmosféru a zemský povrch mnohem teplejší, než kdyby plyny pohlcující infračervené záření nebyly v atmosféře přítomny. Pohlcená energie je vyzařována na jiných vlnových délkách (IR záření). Skleníkové plyny v atmosféře nepohlcují krátkovlnné záření - přicházející od Slunce, ale pohlcují dlouhovlnné (IR) záření. Některé plyny jsou téměř propustné pro sluneční radiaci, silně absorbují dlouhovlnnou radiaci vyzařovanou zemským povrchem a vyzařují jí zpět, jak k zemskému povrchu - čímž přispívají k jeho oteplování, tak do kosmického prostoru.(obr.7)



Obr.7 Pohlcené a odražené IR záření

Země by měla průměrnou teplotu jen  $-18^{\circ}\text{C}$ . Se skleníkovým efektem má průměrnou teplotu 288K ( $+15^{\circ}\text{C}$ ). Skleníkový efekt je potřebný pro existenci života na Zemi.[15]



Obr.8 Skleníkový efekt na Zemi<sup>[19]</sup>

### 3.3 Zdroje infračerveného záření

Infračervená technika používá dnes různé zdroje infračerveného záření, většinou však teplotní zdroje záření, které tvoří různá tělesa (plynné, kapalná a pevná), u kterých je teplota vyšší jako 0K. Klasifikace zdrojů infračerveného záření je rozdělena na umělé a přírodní. Umělé zdroje záření se používají v aktivních infračervených soustavách a jsou východiskem na měření zářivých veličin.

Dělení: Pro aktivní infračervené soustavy – obyčejné a reflektorové žárovky, halogenové zářivky, „tmavé“ zářiče, obloukové lampy, zábleskové výbojky, infrazářiče, lasery

Pro měřicí účely – dutinový zářič, silitové tyče, Nernstův hořák, okysličený nikolový pás

Zdroje poruch (teplotní pozadí) – optické části a okna přístrojů, pozemní umělé zdroje

Na měření zářivých veličin se používají zdroje, jejichž hodnoty záření musíme přesně určit, např. dutinový zářič (model černého tělesa), silitové tyče, okysličený nikolový pás apod.

Přírodní zdroje záření tvoří různé teplotní tělesa, která představují objekty pozorování a měření (např. při bezdotykovém měření teplot různých těles), zdroje poruch (teplotní pozadí), jejichž vliv na měření je třeba eliminovat.

Dělení: Pozemní – půda, rostlinstvo, voda, budovy, dopravní prostředky, lidé

Atmosféra – vodní pára, plyny obsažené v atmosféře, oblaka, polární zář



Kosmické – Slunce, Měsíc, planety, hvězdy, mlhovina

Zdroje poruch (teplotní pozadí) – obloha, oblaka, nebeská tělesa, zemský povrch, obklopující objekty

V aktivních infračervených soustavách se používají hlavně žárovky s wolframovým vláknem, halogenové žárovky, středně a nízkoteplotní (tmavé) zářiče na ohřev, obloukové lampy, výbojky, zábleskové výbojky, optické kvantové generátory (lasery).

Žárovky s wolframovým vláknem jsou konstrukčně jednoduché, stálost zářivých hodnot v průběhu chodu, doba použitelnosti. Používají se v dálkových světloometech, u automobilů, v majácích, na měřicí účely.

Některé ozařovací zařízení na ohřev obsahují zvláštní zářidla, které tvoří zdroje infračerveného záření a reflektory, jehož účelem je měnit rozložení zářivého toku zdrojů záření.

Klasifikace zdrojů záření

a) vysokoteplotní, zahříváné do teploty vyšší 1500°C tvořících infražárovky a halogenové žárovky. ( $\lambda=0,78$  až 1,8  $\mu\text{m}$ )

b) středně-teplotní, zahříváné do teploty 1500°C až 450°C tvořící křemenné zářiče, keramické nebo kovové trubičkové zářiče. Elektrická vyhřívací spirála je zhotovena z chromniklového drátu. ( $\lambda=1,8$   $\mu\text{m}$ )

c) nízkoteplotní, zahříváné do teploty 450°C tvořící např. infrazářiče s velkou keramickou plochou.

Reflektorové infražárovky (s baňkou z červeného skla) používají jednoduchou svinuté wolframové vlákno, umístěné v baňce, která je pokrytá vrstvou hliníku, vyznačujícím se zrcadlovým odrazem.

Obloukové lampy, jejichž spektrum se skládá ze spojitého spektra rozžhavených uhlíkových elektrod a z čárového a pásmového spektra plynů. Při použití uhlíkových elektrod napuštěnými solemi kovů je možné měnit spektrální složení záření oblouku. Intenzita záření uhlíkových obloukových lamp vzrůstá s růstem proudové hustoty. Vyzařují v blízké infračervené oblasti ( $\lambda=0,7$  až 0,8  $\mu\text{m}$ ).

Nízkotlakové céziové výbojky jsou velmi účinným zdrojem monochromatického infračerveného záření vlnových délek 852,1 nm a 894,4 nm. Na podíl těchto dvou rezonančních čar připadá asi 80 až 90% vysílaného zářivého toku.

Ve výbojkách xenonových tvoří výboj dotýčný plyn. Xenonové výbojky potřebují na zážeh v důsledku vysokých tlaků plynů vyšší napětí. Spektrum záření

vyzařovaného xenonu v blízké infračervené oblasti (0,8 až 1,0  $\mu\text{m}$ ). Konkrétně se používají na buzení aktivního prostředí laserů.[7]

Zábleskové výbojky vydávají velký světelný tok za velmi krátkou dobu. Jejich spektrum je vhodné pro optické buzení laserů.

Elektrický výboj v plynu při zábleskových výbojkách má tři stádia: stádium zapálení výboje, kterým se vytvoří podmínky pro vznik hlavního výboje, hlavní stádium, při němž proud v okruhu je příliš velký a výbojka vyzařuje velký světelný tok, poslední stádium, kde postupně mizí výboj. (Viz 2.1.)

Infrazářič je nezávislý spotřebič se vzduchotěsným uzavřeným okruhem spalování, skládá se ze dvou protisměrných trubic, ve kterých cirkuluje ohřátý vzduch (či inertní plyn) s určitým množstvím spalin. Elektrický proud prochází tělesem zářiče s vysokým odporem. Vzniklé záření se odráží do požadovaného prostoru pomocí reflexních ploch. Samotný obalový materiál trubice je z křemíku a uvnitř je stočený Ni – Cr drát nebo wolframové vlákno.[12]

### 3.4 Infračervené záření jako tepelné záření

Je to podoba energie, která zahřívá předměty přímo, bez toho, aby mezitím byl ohříván vzduch.

Lidské tělo je zdroj IR záření. Lidské tělo se téměř chová jako dokonalé černé těleso. Na teplotním obrazu lidského těla se projevuje termoregulace v podobě proudění krve, vedení ve tkáních, odpařování potu, záření IR spektra a lidského metabolismu.

Projev infračervené vidění pozorujeme v přírodě. U některého druhu hadů existují vedle „obyčejných“ očí i detektory infračerveného záření. Uvádí se, že tyto detektory jsou citlivější než jakékoliv jiné detektory IR záření vyrobené člověkem. Citlivost zasahuje až do vlnové délky 10  $\mu\text{m}$  a princip jejich činnosti není dosud zcela jasný. V žádném případě se však tyto druhé oči ani nepřibližují schopnostem očí pracujících ve viditelném světle. Infračervené oči hada nevytváří obraz na sítnici jako komorové oko, ale poskytují omezené prostorové rozlišení podobným způsobem jako složené oko hmyzu. Infračervených detektorů je na hlavě hada několik a každé vidí jen v omezeném prostorovém úhlu. Tak had získá velmi přibližnou představu o zdrojích IR záření v jeho blízkosti. Těmito zdroji mohou být teplokrevní živočichové

– hadem lovená kořist. Had je schopen odlišit živé (tj. teplé) tělo od mrtvého na vzdálenost 5 – 10 cm.[6]

### 3.5.Vliv infračerveného záření na lidské tělo

Infračerveného záření nám umožňuje přínosy pro lidské tělo formou tzv.saunování. Tepelné záření se nejlépe šíří ve vakuu-bez zprostředkování přenosu látkovým prostředím. Právě pro tuto infraregeneraci existuje určitý typ obleku, který částečně toto vakuu umožní.

Systém infračerveného záření zajišťuje průnik paprsků do kůže do hloubky cca 5 mm a tím vzniká zahřívací efekt, při kterém teplo proniká hluboko do svalové tkáně a do vnitřních orgánů. Zvyšuje se tepová frekvence, výdej potu a tělo se zbavuje částečně toxických látek. Například v infrasauně se během jednoho cyklu spálí tolik kalorií jako při běhu od 10 do 15 km.

Toto vyzařování IR záření je spjato s nejrůznějšími druhy ozdravných tělesných reakcí. Infračervený tepelný systém se může také podílet na péči o pokožku, kterou zvláčňuje. Pomáhá při léčbě akné, popálenin, celulitidy. Pro sportovce je ideální k urychlenému doplnění nedostatku kyslíku ve svalech po fyzické zátěži. Urychluje hojení vymknutých kloubů, podvrtnutí a drobných ran. Infračervená energie záření je potřebná k dosažení nejlepší možné ozdravné odezvy u tkání, které se nacházejí v ozdravném procesu. Tento fenomén se nazývá rezonanční absorpce.

Výhodou tohoto typu procedury je přizpůsobování se prostředí. V infrasauně se lidské tělo rychleji aklimatizuje na ovzduší i teplotu, narozdíl od klasických saun. [16]

Lidská těla vyzařuje infračervenou energii skrze kůži v rozsahu 3 - 50  $\mu\text{m}$ , kdy většina je kolem 9,4  $\mu\text{m}$ . Dlaně vyzařují infračervenou energii mezi 8 - 14  $\mu\text{m}$  . Reiki, uzdravování vyzařováním energie skrze dlaně, má v Číně tradici dlouhou 3000 let a je postavena na uzdravovacích vlastnostech přírodního infračerveného záření. Indičtí jogíni také doporučují uzdravování skrze dlaně, a to hlavně ve spojitosti s úlevou unavených, namáhaných očí. [20]

Působení IR záření není jen blahodárné, může i uškodit

Při vysokých intenzitách má infračervené záření tepelný efekt, který může vést až ke vzniku popálenin. Dlouhovlnné IR záření proniká do větší hloubky tkání.

Průnik tkáněmi, popř. vyzařování IR teplejšími místy, je použitelné v medicíně k diagnostickým úkonům. Akutní celkové postižení zářením se nazývají úžeh a úpal.

Úžeh vzniká celkovým přehřátím organismu slunečního i IR zářením na jeho vzniku se podílí rovněž teplota vzduchu, relativní vlhkost a proudění vzduchu, tedy celý tzv. termický komplex. Vzniká celkové přehřátí organismu, doprovázené nevolností a zvracením.

Úpal je zapříčiněn především přehřátím hlavy, přičemž dlouhovlnná složka IR-B může pronikat skrze povrchové struktury a dráždit mozkové obaly. Příznaky jsou podobné úžehu, více v popředí je však nevolnost a silné bolesti hlavy. Oba stavy mohou u disponovaných jedinců vyvolat epileptické nebo epileptiformní křeče. Prevencí obou je vyhýbání se otevřenému prostranství na slunci a dostatečný pitný režim, prevencí úpalu pak navíc nošení pokrývky hlavy. V 19. století nosili evropští návštěvníci tropických zemí tzv. tropické helmy, vybavené mezivrstvou, pohlcující infračervené záření.

Je diskutováno o vlivu extrémní dlouhodobých expozic IR záření na kůži, kdy byly popsány (spíše jako rarita) případy vzniku nádorů na takto ozařovaných místech. Např. u budhistických mnichů, nosících ve vysokohorských podmínkách pod oděvem košík se žhavými uhlíky (zde byla možnost současného působení chemických látek) nebo u osob, které dlouhá léta spávaly na zapnuté elektrické podušce a měly změny od hyperpigmentace až po nádorové bujení rozmístěny na kůži jako „fotografii“ odporových drátů v přístroji. Rozhodně je však riziko takovýchto poruch zdraví velice nízké. [21]

### 3.6 Působení infračerveného záření na zrak

Za normálních podmínek proniká záření nejvýše 5 mm hluboko. Toto záření proniká do hlubších vrstev oka, kde dochází k jeho absorpci a poškození nitroočních struktur. Infračervené záření je částečně pohlcováno komorovou vodou a částečně sklivcem, kde je přeměněno na teplo a snadno odvedeno.

Absorpcí dlouhovlnného záření pigmentovým epitelem sítnice dochází k tepelnému poškození. Pro stupeň poškození je důležitá hloubka, do které záření proniká. Působí na zevní orgány jako je čočka a spojivka.

Poškození oka je také závislé na vlnové délce záření – infračervené světlo vlnové délky větší než 1,4  $\mu\text{m}$  k sítnici nepronikne. Oko může být poškozeno

infračervenými paprsky do 1,4  $\mu\text{m}$ . Při velké intenzitě záření může být poškozen přední segment oka (rohovka), po delší expozici čočka a při velké intenzitě záření zadní segment (sítnice).

V rozmezí 750 – 2500 nm se infračervené paprsky označují jako penetrující – pronikavé. Zdrojem jsou rozžhavené roztavené kovy a sklo. Na čočce se projeví poškození jejím kalením a odlupováním předního pouzdra čočky. U afakických - po vyjmutí oční čočky - očí může toto záření způsobit i poškození sítnice.

Infračervené záření způsobuje termické poškození hlubších vrstev, čočky, sítnice – je tedy absorbováno čočkou a sítnicí nebo duhovkou. Rohovka tyto paprsky absorbuje jen velmi málo (paprsky jí pouze prostupují). Obecně přitom platí, že záření, které je očními tkáněmi nejvíce absorbováno, může tyto tkáně také nejvíce poškodit. Záření nad 320 nm oko poškodí až při vyšších úrovních radiace. Dochází k tepelnému poškození vlnovými délkami v rozmezí 700 – 1000 nm. Citlivost sítnice pro tepelné poškození spočívá ve vysoké schopnosti absorpce tepla melaninovými granulemi - oční pigment - v pigmentových buňkách. Nadměrné teplo se šíří z ohniska ve žluté skvrně do okolí, kde může dojít až k denaturaci tkáňových bílkovin a tím k typickým příznakům jizvení. Zvýšení teploty o 10°C nad hranici normální teploty těla již vede k odumírání buněk pigmentového epitelu sítnice a tím k jejímu nenávratnému poškození.

Infračervené záření s vlnovou délkou vyšší než 1 400 nm je potom absorbováno opět hlavně rohovkou a sklivcem. Je vyzařováno také kovy a látkami, avšak nižší teploty než u světla penetrujícího. Na sítnici dospělého člověka proniká pouze část spektra záření, přičemž intenzita pro různé vlnové délky je značně proměnná, zejména v blízké infračervené oblasti. Vyvolávají bolest podrážděním rohovky a tak většinou způsobí pouze poškození rohovkové tkáně nebo popáleniny kůže víček a spojivky. Zdá se, že právě v této IR-A oblasti je sítnice oka na příjem záření velmi citlivá a to přesto, že se jedná o relativně energeticky méně významnou část slunečního spektra. Infračervené záření nad 2400 nm se nazývá nepenetrující.

Retinitis solaris neboli sluneční zánět sítnice vede k vytvoření termické změny na sítnici v oblasti makuly (žlutá skvrna), při pozorování zatmění slunce bez brýlí. Dochází k rozpadu pigmentového epitelu a k poškození smyslových buněk, což vyvolá výpadky zorného pole, snížení vidění, metamorfopsie (porucha vnímání formy tvaru), fotofobie (světloplachost). Změny jsou ireverzibilní. Vliv na toto poškození má šířka zornice a délka expozice. Při zornici široké 3 mm vzroste teplota

sítnice o 4°C, to je ještě pod hranicí poškození sítnice. Při šířce zornice 7 mm již teplota vzroste o 22°C a je překročen práh fotokoagulace (dojde ke srážení bílkovin). Symptomy poškození se objeví za 1 – 4 hodiny po ozáření.

Optická soustava oka soustřeďuje svazek záření tak, že na sítnici je až cca 100 000krát vyšší intenzita než na povrchu oka.

Sklářská katarakta nebo-li šedý zákal vzniká u lidí pracujících u pecí, ve sklárnách, při dlouhodobé práci. Vzniká zadní polární katarakta a typická odlučující se lamela na přední kapsule (pouzďře). Jedinou ochranou jsou brýle (modré kobaltové světlo).

Elektrická katarakta vznikne při styku těla a hlavy s elektrickým proudem nebo zásahem bleskem.

Ochranou přede těmito chorobami jsou ochranné brýle a předcházení pohledům do zdroje záření.[4]

Vliv UV a IR záření prostupují současně atmosférou a každé z těchto záření má rozdílné působení. UV záření působí na povrchů lidského těla a IR záření prostupuje hluboko do tkání.

### 3.6.1. Vliv infračerveného záření na oko s progresivní myopií

Infračervená složka proniká volně na povrch Země, samotné Sluneční záření je pohlcováno atmosférou. Rohovka i čočka zabrání vstupu škodlivého UVA a UVB záření. Na sítnici následně dopadne jen viditelné světlo a složka IR záření blízké viditelnému světlu.

Radiační energie mění chromofory na teplo. V absorpčním objemu okolní tkáně je toto teplo pohlceno a ve sklivci je vedením a prouděním tkáňové tekutiny nebo na sítnici a cévnatce krevním odtokem odváděno. Při zvýšení teplot ve sklivci může dojít až ke zkapalnění pro ztrátu prostorové struktury biomolekul hyaluronové kyseliny a kolagenu.

Ve třech sériích pokusů jsme experimentálně sledovali působení světla a tepla na hovězím sklivci.

V první sérii pokusu jsme postupně ve vodní lázni zahřivali sklivec na 55°C. Docházelo k přechodu sklivcového kolagenu na želatinu. Po 2 minutách se sklivec scvrkl na ½ svého objemu.

V druhé sérii pokusu jsme v různých vzdálenostech od ohniska studovali vliv světla na teplotu sklivce. Použili jsme model oka. Termostatickým vodním pláštěm

byla udržovaná teplota sklivce na 37°C. Lamelovou hrubou clonou jsme zastínili halogenovou žárovku, sloužící jako zdroj světla. Nejvyšší teplota byla v ohnisku dosažena ve vzduchu. Nejnižší teplota ve vodě pro větší odvod tepla. V závislosti intenzity světla vzrůstá teplota ve sklivci. Následně při zvyšování intenzity světla a délce působení docházelo v ohnisku sklivce k denaturování teploty kolagenu.

V poslední sérii jsme sledovali teplotní pole hovězího sklivce ozařovaného infračervenou lampou přes 20D skleněnou čočkou. Ozařování se provádělo přes IR filtr SHOTT KG3, vkládaný těsně za čočku. Měření termovizním systémem SAN-EI jsme prováděli vyhodnocení teplotního pole.

Termovize NEC-SAN-EI typ 6T63 je krátkovlnná termovize s detektorem InSb. Zabudované krátkovlnné filtry umožňují měření teploty povrchu těles při eliminaci interferenčních vlivů atmosféry, například unikajícího CO<sub>2</sub> nebo vodních par z měřeného objektu. Lze tak měřit i například teplotu plamene nebo transparentních objektů, jako je skleněná tabule nebo průhledný film.[14]

Z pracovní hypotézy progresu myopie vyplývá, že působení světla a tepla v ohnisku před sítnicí přehřívá sklivce. Předpokládá u dětského oka s vrozenou, i když velmi jemnou a v raném věku, skrytou malformaci, tj. nedokonalé uzavření očního pohárku. Dlouho trvající působení trvající zvýšené teploty mohou způsobit rozvolnění a obnažují retinální a chorioidální kapiláry až ke ztenčení bělimy a její elongace. Vhodné absorpční fólie či filtry by mohly působení IR záření snížit. [2]

### 3.7 IR záření a lasery

Laser je zkratka z anglického názvu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (v překladu znamená „zesilování světla pomocí stimulované emise záření“).

Historie využití laseru v lékařství je poměrně krátká. První laser (rubínový) byl zkonstruován v r. 1960 a již rok na to se objevila snaha o jeho využití v oftalmologii. Každý laser je charakterizován vlnovou délkou vyzařovaného světla, režimem vyzařování a výkonem. Skládají se z laserových diod o malém rozměru, které podle použitého polovodičového materiálu vyzařují záření o vlnové délce 630-900 nm. [22]

Druhy laserů jsou plynové (atomární, iontové, molekulární), pevno-látkové, barvivové, polovodičové. Mezi nejvýkonnější lasery patří CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý), což je

plynový laser. Všechny lasery potřebují nějaké aktivní prostředí (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, HeNe, He-Cd, Ar, H<sub>2</sub>, CO, ArF, KrCl, KrF, XeCl, XeF, krystal rubínu, páry mědi, jódu, zlata, alexandrit, Ti-safir). Aktivní prostředí je látka obsahující oddělené kvantové energetické hladiny elektronů. Může jím být plyn, monokrystal, polovodič nebo volné elektrony. Do tohoto prostředí se musí pouštět energie, zpravidla elektrická (u barvivových, rubínových a dalších, je to energie světelná), vytvořený paprsek se musí posléze usměrnit a hlavně zesílit, na to se používá rezonátor, tvoří ho dvě zrcadla (99,9% nepropustné, 95% méně propustné, to je výstupní). Pak je potřeba kvalitní optická soustava, to u polovodičových laserů, tvoří je čočka - rozptylka. Mezi velice přesné lasery patří helium-neonový (HeNe).

Za výkon laseru se považuje výkon zářivý, ten se pohybuje od několika  $\mu$ W do několika GW. Například v laserových ukazovátkách je výkon pohybující se 1-5 mW. Již 5 mW může poškodit zrak.[23]

Podle účelu použití volíme laser s odpovídající vlnovou délkou. Právě pro hlubší aplikace se používá laser s vyzařováním v blízké infračervené oblasti. Laserový efekt je založen na zesílení světla. Excitované = vybuzené atomy musí převažovat nad atomy v základním stavu.

Typy laserů dělíme podle mechanismu biologického působení na tepelné a netepelné.

Tepelné účinky závisí na výkonové hustotě laserového záření a na jeho vlnové délce. Netepelné účinky převažuje u laseru s nízkým výkonem a jsou málo závislé na vlnové délce.

Je znám též fotodynamický účinek laserového záření. Rozumí se jím změna chemické struktury látky po ozáření zářením určité vlnové délky. Při průchodu tkání se rychle ztrácí koherence záření a dochází k menšímu působení účinku na tělo.

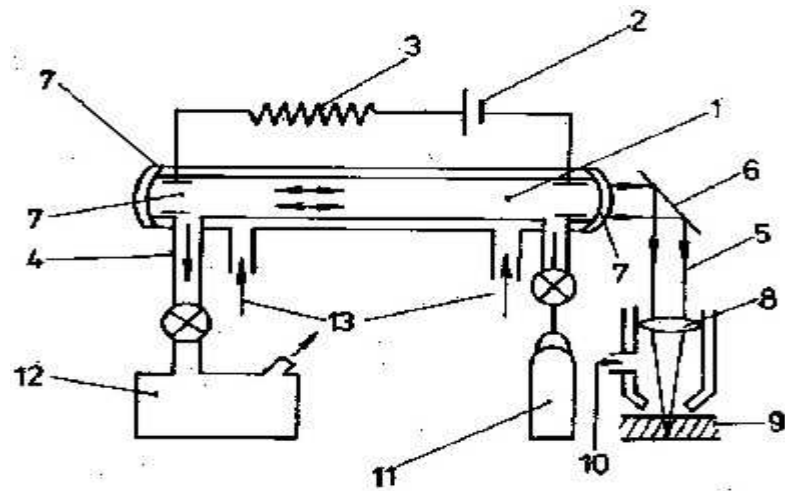
Laser může způsobit poškození oka přímým zásahem nebo odraženým paprskem. Stupeň poškození závisí na energii, vlnové délce a fokusaci paprsku. Poškození může být drobné nebo rozsáhlé v podobě hemoragií (krvácení). Přímý zásah makuly laserovým paprskem způsobí vznik chororetinální (cévnatkosítnicové) jizvy a makula (žlutá skvrna) ztratí svoji funkci.

Při použití laserů jsou předepsané ochranné brýle podle typu laseru a vlnové délky.

Přirozená ochrana je zajišťována rohovkovým systémem, mrkacím systémem nebo zvýšením pigmentace (černoch – hnědá duhovka, nasko – modrá iris). Preventivní ochranou je používání olověné protězy při léčebném používání záření.



Dnes jsou hodně používaná umělá světla (laserové show), může dojít k fotochemickému poškození oka a změny mohou být nezvratné.[6]



Obr.9 : Schéma CO<sub>2</sub> laseru (1 - laserová trubice naplněná plynem, 2 - zdroj elektrické energie, 3 - tlumící odpor, 4 - tok plynu, 5 - laserový paprsek, 6 - zrcadlo, 7 - polopropustné zrcadlo, 8 - čočka, 9 - obrobek, 10 - výfukový plyn, 11 - plynový válec, 12 - odsávací čerpadlo, 13 - chladící voda)

## 4. Termovizní měření

Termovize je optoelektronický zobrazovací systém pracující ve středním nebo dlouhovlnném infračerveném spektrálním pásmu. Termografii měříme plošně teploty těles. Je to zobrazovací metoda, která používá k rozlišování bolometry, pyrometry = infra-teploměry a infra-termočlánky.

### 4.1. Historie termovizního měření

Vědní obor, jehož náplní byly formy, způsoby a metody měření teploty, se nazývá termometrie. Primitivní plynový teploměr tzv. termoskop navrhnul Galileo Galilei v roce 1595 vyrobený na základě expanse atmosférického vzduchu. V roce 1645 byl zkonstruovaný termometr, používán byl jak medicíně tak pro vědecké účely, na podkladě rozpínavosti alkoholu po tepelném ohřevu. V roce 1714 Gabriel Fahrenheit použil místo alkoholu rtuť a navrhl teplotní stupnici na základě teplotního intervalu mezi bodem mrazu slané vody a teplotou těla zdravého člověka.

V roce 1829 Nobilli vytvořil náhradou za teploměr termočlánek. Do té doby byl teploměr používán jako jediný detektor IR záření.[5]

Teprve až r. 1934 se podařilo Němci Holstovi zviditelnění IR záření na základě fotoelektrického principu. Umožnil zobrazení IR záření do vlnové délky 1,4  $\mu\text{m}$  za pomoci fotoelektrického elektronové převaděče. Tato metoda položila základ pro konstrukci moderních termovizních kamer. [9]

V roce 1955 Kanadčan Lawson zjistil vzestup teploty nad tumorem prsu. Další použití termografie v lékařství bylo až o 6 let později v Anglii, poté v roce 1965 v Holandsku.

První termografická konference se konala ve Strassburgu v roce 1966. V roce 1971 byla založena první termografická společnost, která vydávala i svůj oficiální časopis Acta thermografica.[5]

### 4.2. Termografie

Každé těleso o teplotě vyšší než absolutní nula vyzařuje elektromagnetické záření. ( $0\text{K} = -273^\circ\text{C}$ ). Znamená to, že pomocí termokamery jsme schopni předměty (s teplotou nad absolutní nulou) zaznamenat a rozlišit.

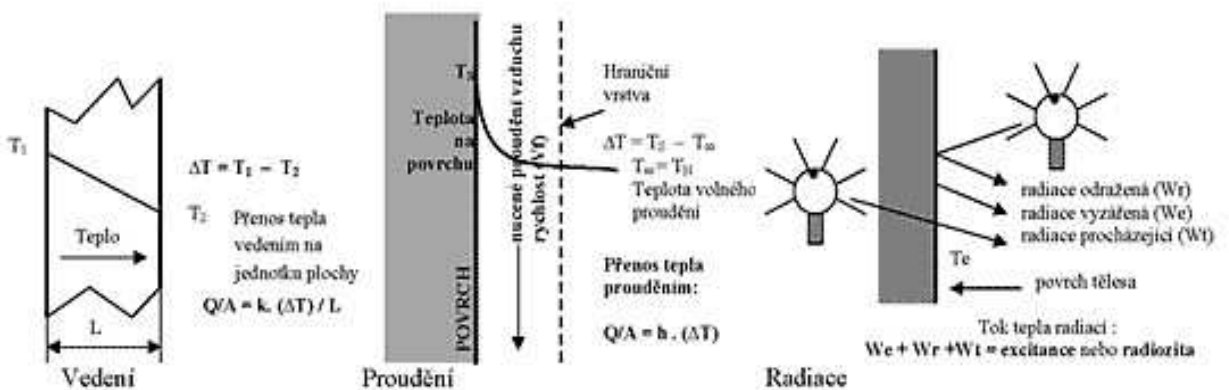
Podstatou termografie je zobrazuje objekt na základě jeho vyzařování. Existují tři základní typy přenosů tepla: vedení (kondukce), proudění (konvekce) a záření (radiace). Všechno teplo je přenášeno jedním z těchto tří typů přenosů, obvykle ale kombinací dvou nebo všech tří typů přenosů. Infračervená termografie je pochopitelně nejbližší radiacnímu přenosu tepla. (Viz Obr.10)

Přenos tepla vedením se uplatňuje hlavně u pevných těles a také u kapalin a plynů. Jde vlastně o přenos vibrací (kmitání) atomů pevných těles nebo srážkami molekul plynů, čímž dochází k pohybu energie od teplejší části tělesa směrem ke studenější.

Přenos tepla prouděním se uplatňuje u pohybujících se skupenství a je většinou vždy u přenosu tepla mezi pevným a kapalným (plynným) skupenstvím. Volné proudění se uplatňuje pokud přenos tepla způsobuje změnu hustoty kapaliny a teplejší část stoupá vzhůru jako výsledek vzrůstajícího vzlaku. Nucené proudění se uplatňuje i tehdy, kdy vnější zdroj, jako např. ventilátor chlazení, uvádí kapalinu (plyn) do pohybu.

Přenos tepla radiací se od předcházejících dvou liší v několika aspektech. Může procházet vakuem, uskutečňuje se elektromagnetickou emisí a absorpcí, probíhá rychlostí světla a chová se jako světlo.

Tepelná infračervená radiace opouštějící povrch tělesa se nazývá radiacní excitance nebo radiosita.. Ta může být emitována z povrchu, odražená od povrchu nebo může procházet povrchem.



Obr.10 Přenos tepla

Termografie nachází uplatnění při diagnostice průmyslových strojů, pohonů, ložisek. Nachází využití v elektrotechnice, v průmyslu a ve stavebnictví, při požární prevenci, mají i široké uplatnění v lékařské diagnostice. [13]

#### 4.3. Termovizní měření

Měření pomocí termovizní kamery umožňuje zobrazit informace o rozložení teploty na povrchu sledovaného prvku. Měření nevyžaduje zastavení provozu. Je zcela bezkontaktní a nedestruktivní. Termokamery však neměří přímo povrchovou teplotu, ale teplota je dopočítána na základě změřeného infračerveného záření a okrajových podmínek zadaných do kamery nebo do vyhodnocovacího programu. Jako objektiv slouží čočka např. z germania, která zároveň odfiltruje i viditelné světlo. Dochází k rozkladu nasnímaného objektu a různé typy detektorů slouží pro vyhodnocení teploty.

Pásmo infračerveného záření je v rozmezí viditelného pásma o vlnové délce 0,75  $\mu\text{m}$  a mikrovlnného pásma o vlnové délce 100  $\mu\text{m}$ . Termokamera využívá část infračerveného pásma záření tzv. atmosférického okna o vlnové délce 8-14  $\mu\text{m}$ , při kterém jsou minimální ztráty z absorpce atmosféry. Zaznamenává záření na povrchu předmětů a jejím výsledkem je termogram, což je digitální obraz teplotního pole, kde je příslušným teplotám přiřazena určitá barva. Je možné sledovat a zobrazovat teplotní rozdíly a získat tak podrobný obraz tepelných ztrát, případně zdrojů tepla. Bílá, červená a žlutá barva představují nejvyšší teploty, černá, fialová a modrá teploty nejnižší. Čím je odstín tmavší, tím je povrchová teplota nižší a opačně. Přitom se využívá buď vyzařování infračervených paprsků přímo z povrchu samotného sledovaného objektu nebo z povrchu objektu, kterému je tepelná energie dodávána z nějakého ještě dalšího vnějšího zdroje. Tím mohou být zábleskové lampy, halogenové výbojky, infrazářiče nebo i laser.

Hodnoty prostředí ovlivňující měřený objekt jsou následující. Emisivita povrchu, teplota, vzdálenost mezi objektem a kamerou, relativní vlhkost a teplota vnějšího a vnitřního vzduchu. Hlavní důraz se klade na správné určení emisivity a teploty.

Z uvedených parametrů je nejdůležitějších emisivita = sálavost. Emisivita povrchu je bezrozměrné číslo z intervalu  $\langle 0 \div 1 \rangle$ , 0 (lesklé zrcadlo, dokonalý

reflektor) až 1 (černé těleso, dokonalý emitör), které udává vyzařování povrchu pro záření. Je to podíl intenzity vyzařování šedého zářiče a vyzařování černého zářiče při stejné teplotě. Tedy je to míra schopnosti objektu vyzařovat tepelnou energii. Obecně emisivita závisí na typu materiálu zdroje a jeho vlastnostech (matný, lesklý..), vlnové délce, teplotě zdroje, směru vyzařování. Absolutně černé těleso má emisivitu na všech vlnových délkách rovnu 1. Šedá tělesa mají ve všech vlnových délkách emisivitu menší než 1. Většina zdrojů je selektivních, tzv. emisivita  $<1$  a není konstantní pro různé vlnové délky. Většina organických, lakovaných nebo zoxidovaných povrchů má hodnoty emisivity blížíící se 0,95. Lidská pokožka má emisivitu blízkou jedné 0,98-0,99. Neoxidující kovy vykazují téměř dokonalou nepropustnost a vysokou spektrální odrazivost, která se příliš nemění s vlnovou délkou. Emisivita kovů je nízká, a roste pouze s teplotou. Pro nekovy je naopak emisivita větší a klesá s teplotou.

Pohlřivost = absorpce je schopnost materiálu pohlcovat energii. Hodnota pohlřivosti a emisivity je pro mnoho materiálů shodná.[29]

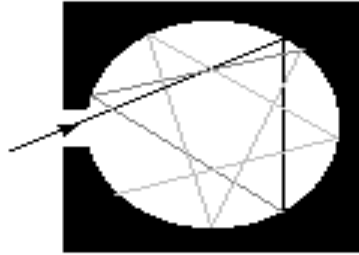
Musíme brát i v úvahu odraženou energii, někdy též uváděnou jako odraženou teplotu, což je teplota ve stupních celsia všech okolních těles v blízkosti měřeného objektu. Z těchto hodnot se dopočítává propustnost prostředí vzduchu. Měření lze provádět při mlze, dešti nebo sněhu – s rizikem zkreslení měření - , protože voda je pro infračervené záření zcela nepropustná. I tak je propustnost atmosféry pro IR záření podstatně vyšší než pro viditelné záření. Proto termovizní kamerou máme v mlze a v dýmu větší dosah než jinými optickými přístroji.

Při nevědomosti, jak mohou okrajové podmínky ovlivnit měření, se lze dopracovat k chybám, které mohou dosahovat několik set procent.

#### 4.4 Záření černého tělesa a jeho zákony

Absolutně černé těleso neexistuje. V laboratorních podmínkách model absolutně černého tělesa vyzařuje s 98% energetickou účinností. Nejběžnější postup při výrobě těchto zdrojů je použitím dutiny s malým otvorem, kterým prochází takřka absolutně černé záření. Absolutně černé těleso je fyzikální abstrakce pro objekt, jehož koeficient emisivity  $\epsilon=1$ , tzn. pohltí veškeré dopadající záření a vyzáří více tepelného záření pro všechny vlnové délky než jakékoliv jiné těleso stejných rozměrů a teploty. Model černého tělesa musíme udržovat na konstantní teplotě s nepatrnou tepelnou ztrátou. Uvnitř tělesa

je záření několikrát absorbováno a emitováno, až nastane tepelná rovnováha se stěnami tělesa. Na obr. 11 je znázorněn takový model absolutně černého tělesa.[13]



Obr.11: Schématické znázornění černého tělesa

Následující grafy představují spektrální vyzařování těles dle Planckova zákona, jejichž teplota se pohybuje v rozmezí na zemi obvyklém.

Planckův vyzařovací zákon vyjadřuje závislost intenzity záření absolutně černého tělesa na frekvenci  $\omega$ .

$$dI = \frac{\hbar}{\pi^2 c^2} \frac{\omega^3}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\omega,$$

kde  $\omega$  je úhlová frekvence záření,

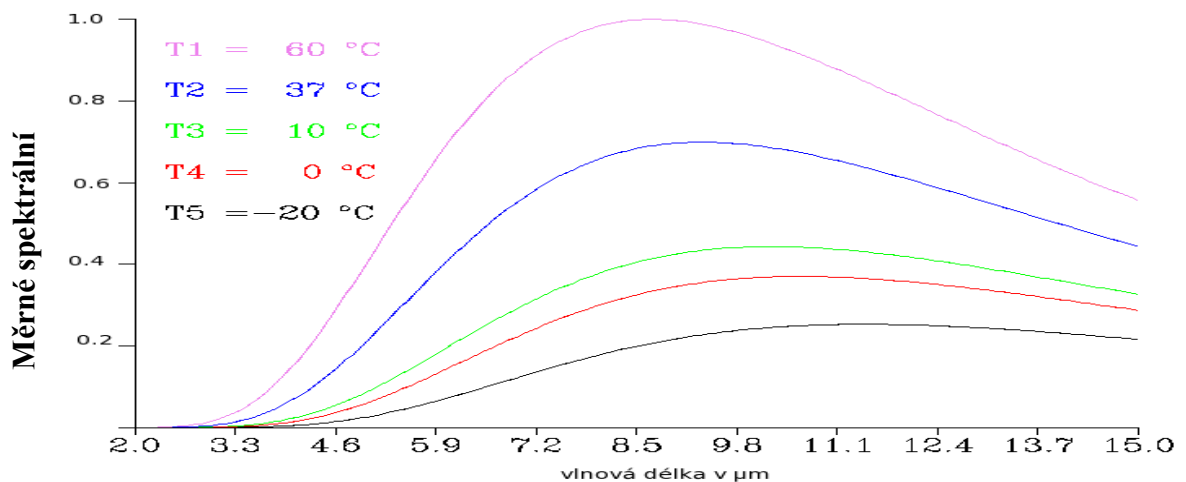
$I$  je intenzita záření,

$T$  je teplota absolutně černého tělesa,

$\hbar$  je redukovaná Planckova konstanta,

$c$  je rychlost světla ve vakuu

$k$  Boltzmannova konstanta.



Obr.12 Spektrální vyzařování těles

Uvedené křivky spektrálního vyzařování platí pro černá tělesa. Celková energie vyzařená černým tělesem  $W_{\text{celk}}$  je pak dána *Stefan-Boltzmannovým* zákonem:

$$W_{\text{celk}} = 5.7 \times 10^{-8} T^4 \text{ [W/m}^2\text{]},$$

kde  $T$  je teplota tělesa v kelvinech. Většina těles se však chová odlišně a musíme je uvažovat jako šedé zářiče. Což je zářící objekt, jehož emisivita je v konstantním poměru (ne jedna), ve všech vlnových délkách k emisivitě černého tělesa při stejné teplotě.

K tomu doplníme Wienův posunovací zákon, který konstatuje, že v záření absolutně černého tělesa je maximální energie vyzařována na vlnové délce, která se s rostoucí termodynamickou teplotou snižuje (tj. čím teplejší je těleso, tím vyzařuje na kratších vlnových délkách, tj. vyšších frekvencích):

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T},$$

kde  $\lambda_{\text{max}}$  je vlnová délka maxima vyzařování,  $T$  je teplota tělesa a  $b$  je tzv. Wienova konstanta, jejíž hodnota je přibližně  $b=2,898\text{mm} \cdot \text{K}$ . (Tento posun je vidět na obr.12)

Oproti slunečnímu záření jsou maxima intezity vyzařování těles o teplotách v rozmezí  $60^\circ\text{C}$  až  $-20^\circ\text{C}$  posunuta k podstatně delším vlnovým délkám a leží v pásmu 8 až 12  $\mu\text{m}$ . Podivuhodnou shodou okolností se jedná o oblast, ve které je i dobrá propustnost zemské atmosféry. [15]

Uplatnění termovizního měření vychází z předchozí podkapitoly termografie.

#### 4.5. Historie termovizních systémů

První vývoj a použití termografie se objevily ve vojenství. Základ byl položen v bodovém detektoru zabudovaného do stěny Dewarovy nádoby a chlazeného tekutým dusíkem na extrémně nízkou teplotu  $-196^\circ\text{C}$ .

V roce 1938 ve Francii byl první zkonstruován systém Bayleův s termočlánkem v kompenzačním zapojení jako detektor.

Zdokonalený systém Delbordův byl již opatřen elektrochemickým záznamem termogramu se 120 řádky a dobou potřebnou pro vznik 1 termogramu (10 minut).

V roce 1959 od firmy Barnes Engineering Co. z USA systém nazván jako Model 12/2006 se schopnosti rozlišit teplotní rozdíl od 0,5°C do 0,1°C. Doba pro vznik 1 termogramu činila 13 minut.

U dalších systému z Paříže se citlivost na rozlišení teplotních rozdílů zvyšovala a tyto pasivní systémy měla dobu snímání příliš dlouhou.

Rozhodující předěl nastal v roce 1960 u AGA-thermovision, systém 652 od švédské firmy s frekvencí termogramů 16/vteřinu. Dokonalejší systém 680/102-B použitím čočkového germaniového nebo křemíkové objektivu a rozkladovým – v současnosti je nazýván scanovací - hranolem místo výkyvného zrcadla. Detektor byl typu InSb chlazený tekutým dusíkem. Obrazová frekvence činí 16 termogramů za sekundu s výstupním záznamem na obrazovce s řádkovým rozkladem 220 řádků. Umožňující snímání systémem černobílé televize zaznamenávající funkční změny v rozsahu spektra od 2,0  $\mu\text{m}$  do 5,4  $\mu\text{m}$ .



Obr.13 Snímek z první termokamer

První termokamery vznikající v 70. a 80. letech, které byly převážně využívaly detektory tvořené (obr 13) nemultiplexované fotovodivé lineární matice s maximálně 100 elementy (poslední špičkové kamery 1 měly až 180) typicky vyráběné z materiálu InSb, PbSe a později i HgCdTe. Výrazný posun v kvalitě v 80. letech pak přineslo

vynalezení SPRITE (Signal Processing In The Element -snímací prvky) detektorů a nasazení skenovací technologie. Skenovací systém umožňuje homogenitu načteného obrazu, vysokou rozlišitelnost a pravidelnost. Tyto kamery pracovaly v spektrálním pásmu 8 - 12  $\mu\text{m}$  s vysoce světelnými objektivy F/2 - F/4 (s clonovými čísly) a typickým teplotním rozlišením NETD 0.2K. NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) je teplotní rozlišení. Změna povrchové teploty snímaného objektu, která na výstupu systému vyvolá signál rovnající se vlastnímu šumu zařízení.

Další typy kamer se vyznačují použitím skenovacího systému ve spojení lineárními nebo 2D FPA (Focal Plane Arrays) detektory s počtem 100 až 1000 elementů nebo případně ještě multiprvkovými SPRITE detektory. Teplotní rozlišení NETD tím kleslo na cca 0.1K. Tyto kamery se již vyznačovaly přijatelně malými rozměry a hmotností a začaly být prodávány i v komerčním provedení. To bylo docíleno



uměním plné integrace snímacích elementů a základní čtecí logiky na jeden společný chip. Nasazení těchto termokamer ve vojenství začalo již v 2. polovině 80. let a trvalo až do poloviny 90. let a i v současnosti stále představují hlavní podíl těchto zařízení ve výzbroji armád. Termokamery využívající vylepšené multilineární FPA jsou někdy označovány jako generace 2+ s vylepšeným teplotním rozlišením až 0.05K. Jádrem jsou HgCdTe detektory s 288x4 elementy pro pásma 3-5  $\mu\text{m}$  a 8-10.5  $\mu\text{m}$  s integrovaným plným signálovým zpracováním (integrace fotoproudu, rychlé čtení, dělení, TDI, výstupní předzesílení apod.). Novější systémy obsahuje neskenovací termokamery. Na rozdíl od skenovacích systémů nepotřebují poziční jednotku pro mechanický rozklad snímání scény.



Obr.14 Snímek z novějších termokamer

Neskenovací systém snímá stále celé pole, zkrátí se doba pro vytvoření jednoho obrazu a zmenší se množství vydané energie, ale zhorší se homogenita obrazu a realizace detekční mozaiky je složitá. Využívající buď 2 D chlazené FPA detektory z materiálu HgCdTe, InSb nebo nejnověji technologii QWIP nebo nechlazené FPA založené na mikrobolometrech nebo fotoelektrické technologii.

Počet elementů dosahuje 1 a více miliónů. Tyto začínající systémy již obsahují plné digitální zpracování signálu na společném chipu, rychlé integrované vyčítací obvody ROIC, volbu pixelů, odblokování každého pixelu, předzesílení, úpravu a filtraci v blocích apod. "Zrušení" skenovací mechaniky velmi zjednodušilo optiku, která teď má za úkol jen zaostřit infračervený obraz na FPA. První kamery z novějších typů byly k dispozici již v 90. letech a od počátku 21.století jsou volně na trhu i chlazené kamery s QWIP technologií nebo nechlazené kamery s detektorem s mikrobolometry. Ty sice se vyznačují výrazně horší kvalitou obrazu než chlazené typy, ale zase jsou 2x až 4x levnější.

Ve výsledku lze napsat, že dobře vytvořená termokamera se skenovacím systémem se kvalitou obrazu vyrovná nebo i předčí kameru s neskenovacím systémem s chlazeným FPA detektorem 320 x 240 pixelů. Hlavně v horizontálním směru. Zde je hlavně rozdíl v ceně, velikosti a hmotnosti, protože skenovací optickým systémem i s menším detektorem je výrazně dražší, větší a těžší než jednoduchá

pevný optický systém s multipixelovým detektorem. Významný kvalitativní rozdíl u novějších systému se objeví až při použití detektoru 640×512 pixelů a větších. V porovnání s nechlazenými typy detektorů pak kvalitou obrazu jasně vítězí. Rozdíl ceny je však i více jak 5ti násobný ve prospěch nechlazených typů, nemluvě o životnosti a nižší energetické náročnosti. (8)

#### 4.6. Termovizní kamera Fluke Ti30

Termovizní kamera Fluke Ti30 (obr.15) je termovizní systém vyrobený ve tvaru pistole. Citlivost přístroje na infračervené záření se pohybuje v rozmezí 7 – 14  $\mu\text{m}$ .



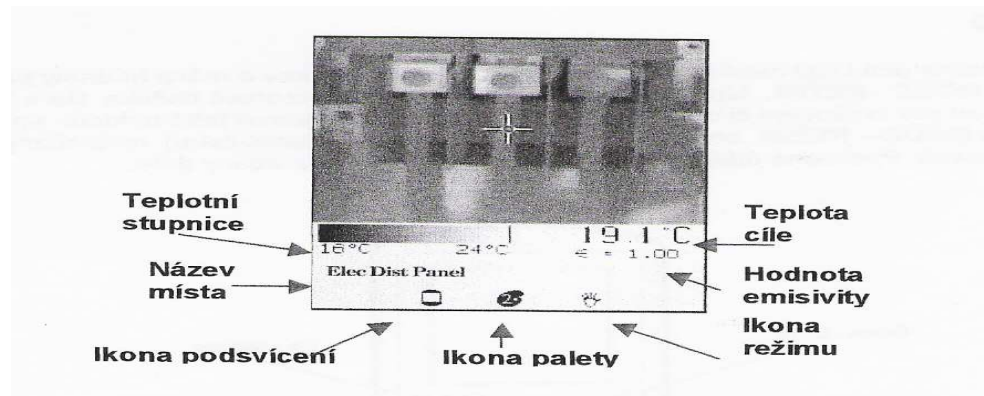
Záření dopadá na nechlazený mikrobolometrický detektor, který obsahuje 120 x 160 senzorů.

Rozsah bezkontaktní měření teploty se pohybuje od  $-10^{\circ}\text{C}$  až do  $250^{\circ}\text{C}$ . Při pozorování určité části objektu lze použít naváděcí laserový paprsek.

Termogram je při měření teploty vyšší než  $0^{\circ}\text{C}$  je teplota podle výrobce určována s přesností  $\pm 2\%$  nebo  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , a to vždy vyšší hodnotu. Přesnost  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  je při měření teplot nižších než  $0^{\circ}\text{C}$ . Displej

Obr.15 Termokamera Fluke zobrazuje teploty s přesností na  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Elektronický

šum Ti30 měřený na výstupu je  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Pomocí ovladače zaostření je možné částečně doostřit termogram. Kamera zaznamenává focený objekt jako teplotní obraz, nazývaný jako termogramy. Kapacita vnitřní paměti je na 100 termogramů. Obrazy se zobrazují na LCD displeji



Obr.16 Displej termokamery Fluke Ti30

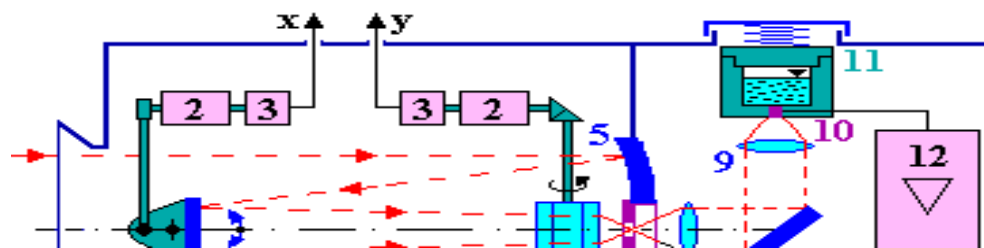
Termogram na displeji (viz obr.16) se aktualizuje při zaměřování Fluke Ti30 na různé cíle s rozdílnými teplotními vzory. Barevná škála na spodní části teplotního obrazu ukazuje maximální a minimální hodnoty teploty na teplotní scéně v jakémkoliv okamžiku. Přístroj nabízí škálu zobrazení od šedé přes kovovou nebo barevnou. Dále se na LCD displeji se zobrazuje teplotní stupnice. Což je stupnice teploty prostředí. Možno pojmenovat místo, kde snímek byl vyfocen. Hodnota emisivity-podle parametru měřeného tělesa viz kap.4.3. Ikona režimu jsou různé operace, které může uživatel volit v rámci smyček. Je možno měnit barvy pozadí snímaného objektu. Samotná hmotnost termokamery včetně akumulátoru je 1kg. Rozměry (v. x d. x š.) jsou 23 x 21,5 x 8,5 cm.

Mikrobolometrický nechlazený detektor v kameře typu Fluke Ti30 pracuje na principu odporového snímače teploty, je umístěný v ohniskové rovině optického systému přístroje. Při absorpci fotonů dochází k oteplování citlivé části senzoru a přes odporový snímač teploty je nepřímo vyhodnocena pohlcená energie.[18]

Matrice detektorů obsahují 120 x 160 senzorů. Maximální citlivost detektorů na infračervené záření je v oblasti 7–14  $\mu\text{m}$ . Teplota tělesa je určována na základě detekce tepelného elektromagnetického záření vysílaného tělesem a přijímaného IR-teploměrem. Velkou výhodou těchto přístrojů je možnost měření záření, a tím i určení teploty, na určitou vzdálenost.

Vlnová délka vyzařovaného záření je závislá na teplotě. Čím je teplota vyšší, tím je vlnová délka vycházejícího záření kratší. V infrakameře se nachází snímací prvky CCD, které zachytí a zobrazí teplotní pole ve viditelné barevné škále.

Obr.17 Termovizní kamera (s klasickým optomechanickým rozkladem)



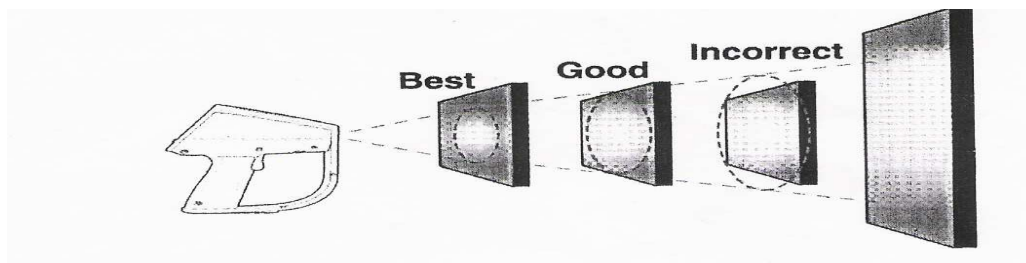
1- rozmítací zrcadlo, 2 - motorky, 3 - fotoelektrické vysílače, 4 - křemenný osmiboký hranol, 5 - duté zrcadlo, 6 - clona, 7, 8, 9 - optická soustava, 10 - kvantový detektor, 11- Dewarova nádoba s kapalným dusíkem, 12 - předzesilovač

Dewarova nádoba (slouží k udržování různých látek, především kapalin, na teplotách nižších nebo vyšších, než je teplota okolí. Užívá se k uchování zkapalněných plynů nebo jako nádoba pro kalorimetry či termostaty. (př. termoska). Dewarova nádoba s tekutým dusíkem udržuje stálou teplotu detektoru na 77K (°C).

Jedná se o klasickou termokameru se skenovacím systémem, která kromě optické soustavy obsahuje i poziční jednotku pro mechanický rozklad snímané scény. Obsahuje 1 detektor. Ten je ozařován jednak zářením ze snímané scény, ale také tzv. referenčním signálem. Rotující jednotka způsobuje, že detektor je střídavě ozařován snímaným signálem a referenčním signálem. Vyhodnocován je pak rozdíl obou zářivých toků a výstupní informace je teplota. (viz obr.17)

Ceny termokamer se pohybují kolem 500 000Kč a výše, i některé české společnosti zprostředkovávají prodej. Samotná termokamera Fluke Ti30 zapůjčena z biofyzikálního ústavu v Bohunicích.

Vliv zorné pole na čitelnost termogramu je na následujícím obrázku



Obr.18 Poměr vzdálenosti a stopy.

Měřený objekt je větší než velikost stopy, kterou přístroj měří. Čím menší je měřený objekt, tím blíže k němu musíte být. Důležitý je poměr vzdálenosti a stopy. Vyjadřuje, že optický systém infračerveného snímače shromažďuje infračervenou energii z kruhové stopy a zaostřuje ji na detektor. Optické rozlišení je definované poměrem vzdáleností od přístroje k velikosti stopy (poměr D:S). D je vzdálenost termokamery od měřeného objektu a S je obsah kruhu. Čím větší je poměr (D:S), tím lepší je rozlišení přístroje a menší velikost měřené stopy, která se může měřit z větší vzdálenosti.

#### 4.7. Detektory

Součástí každé termokamery je některý druh detektorů. Podstatou bezkontaktních teploměrů a zobrazovačů teplotních polí jsou lehkost, kompaktnost a snadnost použití. Mohou bezpečně měřit horké, nebezpečné nebo obtížně přístupné povrchy bez znečištění nebo poškození měřeného předmětu. Bezkontaktní teploměry mohou měřit několik hodnot za sekundu, což při dotykovém měření může trvat několik minut.

Pyrometry = infračervené teploměry se používají pro měření teploty v podmínkách, kde nemohou být použity termočlánky nebo jiné sondy se snímači nebo by z různých důvodů neměřily přesně. Typické podmínky např. jsou, když se objekt pohybuje nebo je obklopen elektromagnetickým polem jako např. u indukčního ohřevu nebo je objekt umístěn ve vakuu nebo jiné řízené atmosféře nebo je u aplikace požadována rychlá odezva.[30]

Rozlišujeme dva druhy detektorů: tepelné a kvantové a to podle reakce detektorů na světelné záření - fotony.

Součástí kvantových detektorů jsou buď čisté polovodiče (Si, Ge) nebo jsou založeny na principu fotoelektrického jevu (vlastnostech PN přechodu). Reagují na energii fotonů (jejich frekvenci) a jejich počet. U tepelných detektorů reaguje citlivá část detektorů na absorpci fotonů. Příkladem jsou pyroelektrické detektory založené na pyroelektrickém jevu, tj. změně spontánní polarizaci při změně teploty. Jedním z nich je bolometr. Bolometry (z řeckého Obr.19 Bolometr bole: paprsek) jsou senzory pro bezdotykové měření teploty



pracující na principu pyrometrie, tzn. měření celkového vyzářeného tepelného výkonu prostřednictvím infračerveného záření. V podstatě jde o termistor, což je polovodičová součástka fungující na principu vlastní vodivosti. Zvýšení teploty odpovídá nárůstu počtu dvojic volných elektron-díra, tedy poklesu odporu. Další z podoby detektorů může být načerněný tenko-vrstevný odporový senzor teploty. Častěji se však bolometry vyskytují v podobě integrovaných obvodů obsahující uspořádání několika desítek, stovek nebo i tisíců bolometrů do matice, obecně označované jako mikrobolometry. Využívají se nejčastěji právě pro potřeby termovize. Výhodou proti normálním bolometrům je malá tloušťka, čímž se eliminuje velká časová konstanta (prodleva) bolometrů. Princip bolometrického detektoru

infračerveného záření je znám od 80. let 19. století. Elektrický odpor bolometru se mění v závislosti na jeho teplotě, která však závisí na množství absorbovaného dopadajícího infračerveného záření. Množství dopadajícího záření může být tedy určeno ze změn odporu bolometru. Aby však byla změna teploty bolometru úměrná pouze absorbovanému infračervenému záření, musí být vlastní bolometr tepelně izolován od svého okolí.

Mezi výhody mikrobolometrů patří jejich rychlost v reakci na teploty v prostředí (krátká časová konstanta - až 1 ms) mají i velkou citlivost. Spektrální citlivost se pohybuje v rozmezí 1,6 – 5000  $\mu\text{m}$ . Systém umožňuje velký pracovní teplotní rozsah (-40 °C až 100 °C) a bez problémů lze měřit vysoký rozsah teplot měřeného objektu (i nad 1500 °C). Při měření neovlivňujeme žádným způsobem měřený objekt. Mikrobolometry jsou složeny z velkého počtu snímačů (i přes 80 tisíc) na malé ploše a jsou schopny při infračerveném snímání obrazu s rozlišit až 320x240 pixelů.

Nevýhodou je vysoká cena. U některých typů je nutnost chlazení.

Při používání závisí také na emisivitě tělesa, teplotě okolních těles a vlhkosti prostředí

## **5. Využití termovizního měření v praxi**

V předchozích kapitolách už jsme se zmiňovali, ve kterých oborech se dá využívat IR záření. Termovize nabízí možnosti měření v nejrozmanitějších oborech. Systém je vhodný pro stavebnictví, strojírenství, firmy a podniky v oblasti elektrotechniky, zemědělské farmy a chovné stanice, organizace podnikající v přírodovědných oborech, zdravotnictví.

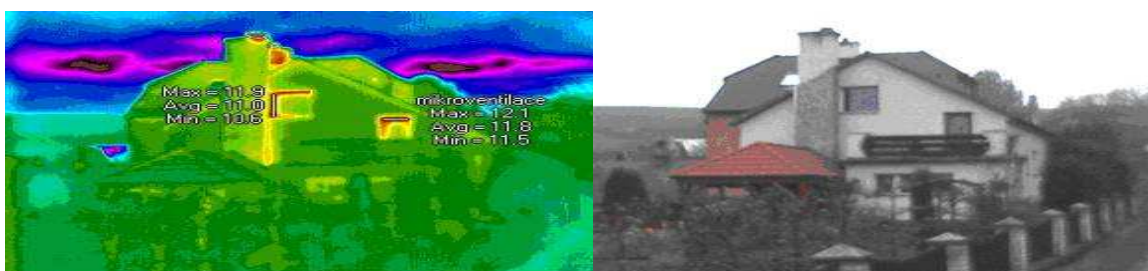
## 5.1 Oblast průmyslu

Ve stavebnictví termografie umožňuje stanovit tepelně technické vlastnosti obvodových plášťů budov a používá se jí při zjišťování skrytých vad staveb.

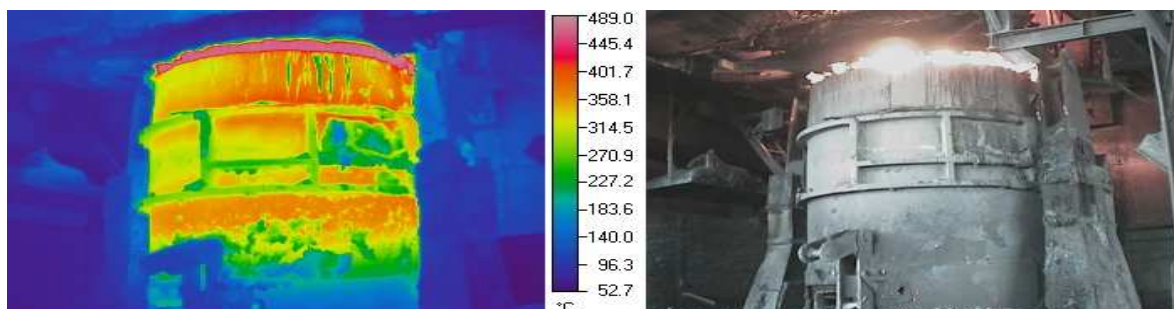
V elektrotechnice lze odhalit potenciální místo poruchy a předejít tak výpadku v dodávce energie. Podobně i u stavu strojů a zařízení. Základní podmínkou k definování teplotního pole na povrchu obvodové konstrukce je existence tepelného toku a splnění okrajových podmínek při měření. Z praktického uživatelského hlediska se při vyhodnocování nejčastěji používá kvalitativní metoda, která není zaměřena na kontrolu skutečné povrchové teploty objektu, ale na zjištění teplotních rozdílů. Pro získání použitelných výsledků je nezbytné, aby teplotní rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou byl minimálně 10°C, lépe 18°C – podle citlivosti kamer. Měření lze provádět v závislosti na klimatických podmínkách, zpravidla od listopadu do března, potom už nejsou podmínky pro měření příznivé.

Možnost využití sledovat projevy tepelného záření, a to jak ve stavební praxi, tak při zjišťování úniku tepla budov, strojních a elektrických zařízení a zjišťování jejich poruchových stavů dříve než dojde k viditelnému poškození nebo havárii. Kontrola funkčnosti olejových chladičů transformátorů, vyhledání vadných míst na soustrojí a určení místa závady (ložiska, hřídel, motor atd.), vedení podlahového topení, vodovodního potrubí a elektrokabelů ve zdi apod.

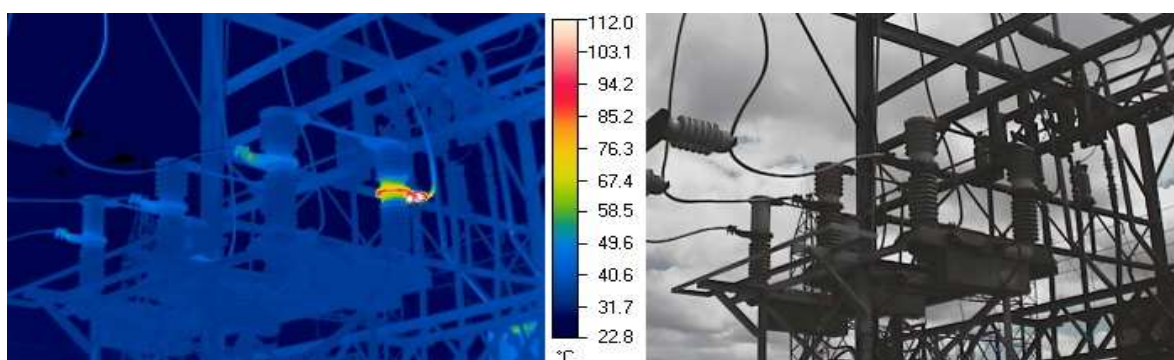
Výsledky jsou zobrazeny na barevných termogramech - fotografiích s rozložením teplotních polí včetně skutečných teplot s možností histogramu. Na termogramu je zobrazen rodinný domek s kvalitní tepelnou izolací, evidentní je prostup tepla okenními rámy. (viz obr.16)



Obr.16 Rodinný dům



Obr.17 Únik tepla u kalících pecí



Obr.18 Přehřátí části rozvodového zařízení

## 5.2 Oblast armády a civilní složky

Aktivním seřazením informací v nočních podmínkách ve vojenství je možnost využívat takzvané přílbové zaměřovače. Jeho hlavním přínosem je pohyb letounů i v noci. Tento přístroj je složen z rastrového displeje, který umožňuje výstupní binokulární zobrazení scény, snímané nízko úroňovou televizní kamerou (tzv. CCD kamerou). Je zde přímá souvislost se senzory tj. umožňují využívat displej jako výstupní zařízení letounové termokamery. Přístroj je vyvíjen ve dvou verzích - vojenské i civilní. Prakticky jej lze používat na libovolném typu letounu, zabezpečit součinnost s přidruženými prostředky (radiolokátorem, optoelektronickými senzory, prostředky spojení a radioelektronického boje), a naplňovat i ty nejrozmanitější a nejnáročnější taktické a provozní požadavky. [27]

Kromě sledování okolí a osob v hlídaných objektech můžeme kameru použít i k vyhledávání pohřešovaných osob. Můžeme použít i IR dalekohled. Důležité je, aby



teplota těla pohřešovaného byla výrazně odlišná od teploty okolního prostředí a v případě zavalení pracovníka se tato teplota projevovala na povrchu zkoumaného materiálu. Termovizní kamery mají tu výhodu, že pracují i snížených viditelných podmínkách (např. mlha) a při nulových světelných podmínkách (v noci), kde klasické "noktovizory" již nefungují, nebo potřebují tzv. přisvítit. Noktovizory pracují v infračerveném pásmu blízkém viditelnému světlu. Nezachycují proto tepelné záření (těles s běžnými teplotami), které má nižší frekvence a které využívá termovize. Noktovizor zesiluje záření o vlnových délkách 700 až 1000 nm a převádí ho do viditelné oblasti spektra. Obraz se obvykle zobrazuje na zeleném stínítku. Uživatel tak vidí monochromatický, zelený obraz.

### 5.3. Oblast zdravotnická

Termografie může být využívána ve zdravotnictví, ale má funkci pouze jako doplňková diagnostická metoda. Nebylo ještě provedeno tolik měření ani vyšetření, aby se s jistotou dala odhalit různá onemocnění. Například v plastické chirurgii při kontrole hojení transplantátů nebo při diagnostice různých zánětů a poruch prokrvení.

Citlivost termokamer na změny teploty dosahuje až  $0,025^{\circ}\text{C}$ . Senzitivita termovize jako lékařské zobrazovací metody je však značně rozdílná podle lokalizace zdroje vyšší teploty. Je poměrně vysoká u ložisek na povrchu těla nebo těsně pod ním. Se vzdáleností ložiska od povrchu těla se citlivost snižuje. Důvodem je různá tepelná vodivost tkání ležících mezi zdrojem zvýšené teploty a povrchem těla, na němž dochází k jeho projekci. [6]

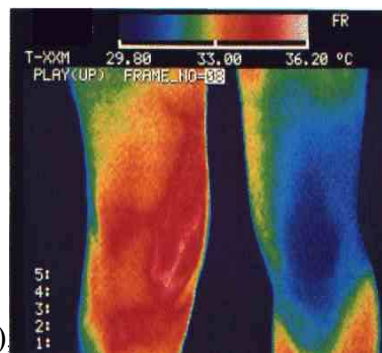
Infračervené světlo se používá i na podporu léčení; pozitivně působí na tvorbu zásoby bílých krvinek; zvyšuje růst buněk, slučování DNA a proteinů v buňkách.

Podporuje krevní oběh, čímž působí proti tvorbě chronického revmatismu. Tiší bolest, únavu, stres a poskytuje úlevu od všech druhů artritidy, je součástí terapie při detoxikaci. Působí při sportovních zraněních, svalových zraněních stejně jako při opakovaných únavových zraněních.

Samotný povrch lidského těla je zdrojem infračerveného záření s intenzitou asi  $100 \text{ mW/cm}^2$ . Tato hodnota závisí ovšem na celé řadě faktorů, probíhajícím metabolismu nebo činnosti člověka a je odlišná na různých částech těla. [2]

Takzvaný teplotní reliéf - rozložení teploty na kůži se jeví jako plastická mapa s teplotními biologickými poklesy a vzestupy. Při sledování určitých onemocnění a jejich závažnosti má větší význam sledování patologických a zánětlivých míst o vyšších teplotách, způsobené zvýšeným prokrvením, zrychleným metabolismem nebo zvýšenou mitotickou aktivitou při maligních nádorových onemocnění. U jednotlivých tkání a orgánů je tento reliéf ovlivňován jednak přirozenými biologickými rytmy, jednak patologickými stavy.

Využití najdeme například v antologii na zjištění umístění varixů dolních končetin. Zvýšená teplota se projeví i u tromboflebitidy (žilní sraženina) cévní malformaci tzv. hemangiom .



Obr. 23 Termogram kolen

Dalším oborem je endokrinologie a to hlavně při onemocnění štítné žlázy. Při zvýšené teplotě těla v celém rozsahu jedná se o zvýšenou funkci (hyperthyreozu) nebo o zánětlivé onemocnění. Při zvýšení teploty na lokální oblasti se jedná o zánětlivý proces, při teplotě v rozmezí 1-2,5°C se může jednat o adenomy, koloidní cesty až maligní procesy. Využití IR záření se objevuje i v oftalmologii při diagnostice zánětlivých a nádorových onemocnění itraorbitálních a intraokulárních. [6]

## 6. Empirické měření

V této kapitole orientačně popíši postup při měření teploty měřených objektů. Při měření teploty objektu se měřicí přístroj namíří na objekt. Kamera pak po stisknutí tlačítka zobrazí snímané pole teplot. Nejstudenější části zorného pole se zobrazují modře až černě, nejteplejší pak žlutě až bíle.

Termovizní kamerou je možné měřit:

1. Pouze povrchovou teplotu. Bezkontaktní teploměry nemohou měřit vnitřní teploty.
2. Neměřili přes sklo. Sklo má velmi výrazné odrazové a přenosové vlastnosti, které neumožňují přesné bezkontaktní měření teploty. Bezkontaktní teploměry se nedoporučují pro měření lesklých nebo leštěných kovových ploch (nerez oceli, hliníku atd.). (Viz kap.4.3.Emisivita.)
3. Podmínky prostředí. Pára, prach, kouř, vzdálenost měřeného objektu atd., mají zásadní vliv na přesnost.
4. Teplota prostředí. Pokud je teploměr vystaven náhlým teplotním změnám o 10°C a více, je nutno měřený objekt asi dvacet minut přizpůsobit se nové teplotě prostředí.
5. Je nutné dodržet poměr vzdálenosti k velikosti měřené stopy a zorného pole.

Popis samotného měření :

Při měření jsem se nezaměřovala pouze na vyšetřované se zraněním nebo nemocí a měřila jsem i určité objekty. Jeden ze snímků je plynový kahan a další je radiátor s parapetem s viditelným rozdílem teplot.

Všichni z vyšetřovaných čekali déle než 20 min v čekárně, to znamená hluk, nervozita a netrpělivost doléhající na psychiku čekajících. Prostředí, ve které jsou pacienti snímání je 22°C, je to zatemněná místnost a není osvětlena zářivkami, bez prachu nebo klimatizace.

Při měření nebyly v blízkém okolí snímaných osob žádné předměty, které by mohli ovlivnit povrchovou teplotu snímaných částí povrchu těla. Teplotu obličeje dotyčných osob mohla ovlivnit větší vrstva oblečení nebo dotyk teplejších částí končetin (rukou) na obličej. Měření bylo provedeno i u zdravých jedinců.

Obr.1 Muž ročník 1976

Akutní problémy se objevily už 8.10.2007

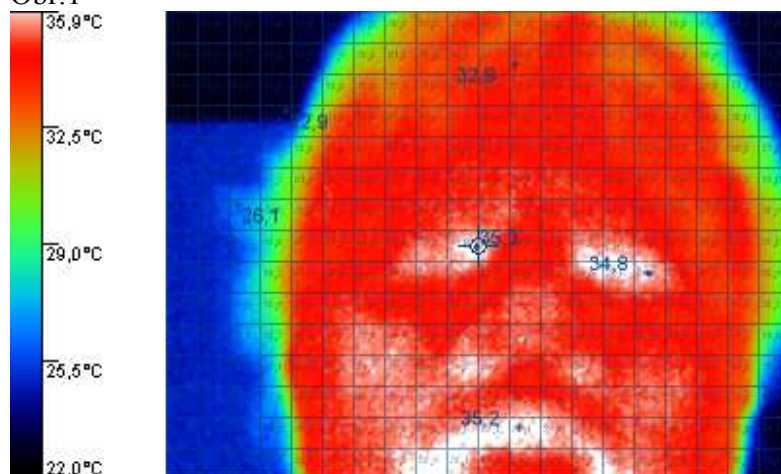
U levého oka se objevil zánět (intermediální uveitida- zánět živnatky-střední obal oka)

Snímek 1 OS:34,6°C (OS okulus sinister -oko levé)

Snímek 2 OD:33,9°C (OD okulus dexter -oko pravé)

Měřeno ze vzdálenosti 2 m

Obr.1



Obr.2 Žena ročník 1985

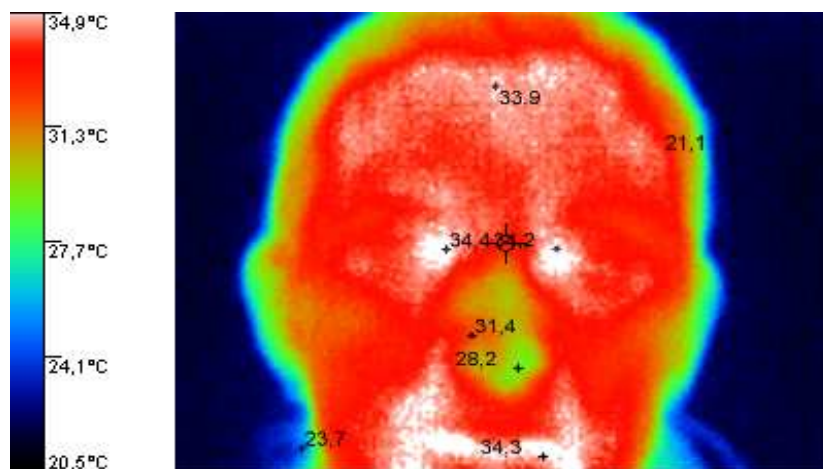
dotyčná je částečně nachlazená, dutiny nachlazený, rýma, pokašlává,

Vzdálenost 50 cm

Snímek 6 OS:34,5°C, 33,5°C

Snímek 7 OD:34,5°C, 33,9°C

Obr.2



Obr.3 Žena ročník 1958

Je zdravá, pobývala dlouho v prostředí 20°C, není nervózní, v klidu, tvrdí, že je jí zima

Snímek 8 OS:33,1°C

Snímek 9 OD:32,9°C

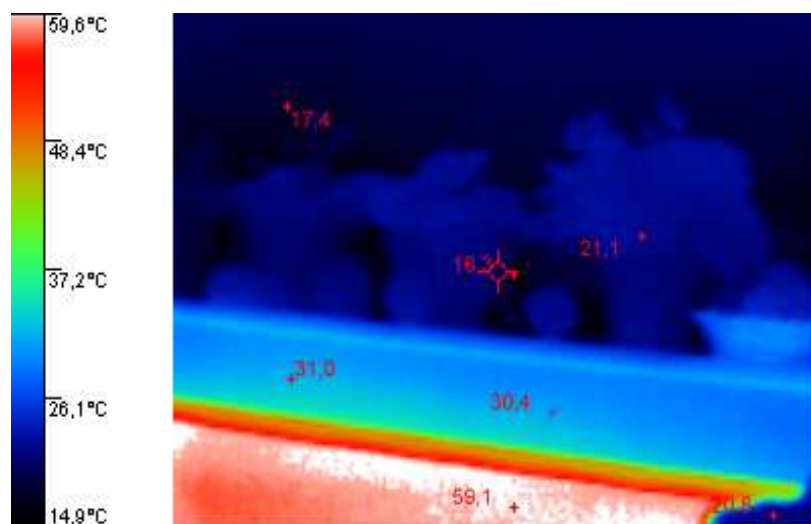
Obr.3



Obr.4 U následujícího snímku je velký rozdíl teplot. Na snímku se nachází okno s parapetem, na parapetu jsou květiny a pod parapetem radiátor

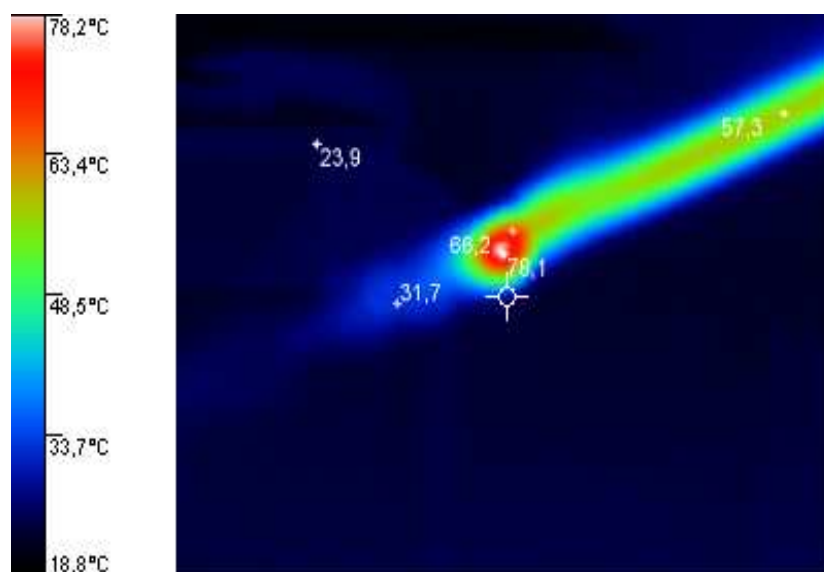
Snímek 10,11 teploty 17°C, 69°C

Obr.4



Obr.5 Snímky 12, 13 plynový kahan , plamen přímo u zdroje až 1500°C, v našem případě naměřeno jen 71,7°C, 39,3°C

Obr.5



Z uvedených termosnímků vyplývá, že rozdílnost teplot je minimální dokonce i u různých zánětu nebo nachlazení. V předcházející kapitole bylo řečeno, že se teploty musí lišit  $<0,5^{\circ}\text{C}$ , abychom mohli určit určité onemocnění. To se nám v tomto případě nepovedlo natolik ověřit. Mohli bychom použít tedy termovizní měření opravdu jen jako doplňkové měření.

## **7.Závěr:**

Úkolem mé práce bylo seřadit informace o působení, vlivu a využití infračerveného záření. IR záření má na život velký vliv, lidstvo si našlo možnost, jak toto záření, co nejvíce využít. Z mé práce a všech poznatků vyplývá, že IR záření je všudypřítomné a využití IR záření najdeme například v průmyslu, v armádě, ve zdravotnictví a v menší míře je i komerčně využíváno. V případě hledání zdroje IR záření v našem nejbližším okolí, tyto zdroje záření najdeme například ve formě mobilních telefonů a i mp3 přehrávačů atd. Samotné přístroje využívající měření IR záření dokáží odhalit, jak povrchovou teplotu, tak i hlubších teplotní rozdíly měřených objektů. Výhodou při diagnostických měření není nutný přímý kontakt s měřeným tělesem a protikladem tohoto systému je výše její ceny. V kapitole Empirické měření jsem termokameru využívala a z tohoto měření vyplývá, že na výsledném zjištění teplot závisí příliš mnoho aspektů prostředí. Proto jí můžeme opravdu zatím využívat jen jako doplňkové měření. Doufejme, že samotné informace budou dostupnější pro specialisty, kteří se touto technikou zabývají a která jim usnadní práci. Předpokládám, že postupem času se tato diagnostická metoda na tolik zdokonalí, že jí budou moci využívat jako plnohodnotné měření například v lékařských profesích atd. Tato práce by mohla sloužit pro další specializace v oborech, které s touto tematikou souvisí.



## 8. Seznam použité literatury

- [1] Pleskotová P.: *Svět barev*; 1.vydání; Praha: Albatros, 1987. 202 s. [cit.20.11.2007]  
ISBN 13-806-87
- [2] Čs.oftal.,55,1999,No.3,p.155-159
- [3] Vrbík P.: *Hygiena optického záření a osvětlování*, Brno: NCO NZO, 1998. 150s.  
ISBN 80-7013-265-5
- [4] Kvapíliková K.:*Práce a vidění*, Brno: NCO NZO 1999. 122s  
ISBN 80-7013-275-2
- [5] Stavratjev, M. *Infračervené záření v medicíně*. In: *Acta universitatis palackianae olomouensis – tom.72 facultatis medicae*, 1974
- [6] Hrazdira I.,Maryšková, V.: *Termovize-její současný význam pro lékařskou diagnostiku*. In:*Lékař a technika*, Praha: CLS, str.117-120, 1999
- [7] Levitin I.B.:*Infračervená technika*, Bratislava: Alfa, 1979. 160s. 63-237-79
- [8] < <http://www.czechdesign.cz/index.php?status=c&clanek=81&lang=1> > [on-line]
- [9] < <http://www.sunnyhouse.cz/index.php?pg=princip#p04> > [on-line]
- [10] < <http://utf.mff.cuni.cz/vyuka/OFY016/F2000/Malcova2.html> > [on-line]
- [11] < <http://kof.zcu.cz/ak/trendy/2/sbornik/stefl/srni.doc> > [on-line]
- [12] < <http://www.energetik.cz/hlavni3.html?m1=vyuziti/infrazarice.html> > [on-line]
- [13] < <http://fyzika.jreichl.com/index.php?page=538&sekce=browse> > [on-line]
- [14] < <http://termoviznimereni.ic.cz/prumysl.html> > [on-line]
- [15] < <http://fzp.ujep.cz/~synek/CHZP/texty/predn8.doc> > [on-line]
- [16] < <http://www.dyntar.com/vliv-na-telo.htm> > [on-line]
- [17] < <http://www.tlt.cz/svetlo-rizikovy-faktor.html> > [on-line]
- [18] Kolektiv autorů: *Fluke Ti30 Users manual*, Test equipment depot – USA 2005
- [19] < <http://www.infrared.cz/Technologie/Zaklad/> > [on-line]
- [20] < <http://compex.zdravi-cz.eu/sauna-oblek-ph2a.php> > [on-line]
- [21] < <http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/zareni.pdf> > [on-line]
- [22] < <http://www.avicenna.cz/item/lasery-v-ocnim-lekarstvi/category/tema-mesice> > [on-line]

- [23] < <http://technology.niagarac.on.ca/people/mcsele/lasers/LasersArgon.htm> > [on-line]
- [24] < <http://dp.kapsa.info/04.html> > [on-line]
- [25] < <http://termokamera.cz/zdravotnictvi.html> > [on-line]
- [26] < <http://spolek.sci.muni.cz/propagace/docs/municz/muni0206.pdf> > [on-line]
- [27] < [http://www.army.cz/avis/vojenske\\_rozhledy/2002\\_3/159.htm](http://www.army.cz/avis/vojenske_rozhledy/2002_3/159.htm) > [on-line]
- [28] < <http://www.dbme.feec.vutbr.cz/ubmi/courses/MKZS/zsluvod.ppt> > [on-line]
- [29] < <http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/2-7/rp/vlcek.pdf> > [on-line]
- [30] < <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/infraredthermometer.html> > [on-line]

Klíčová slova: IR záření, termovizní kamera, detektory

Keywords: IR radiation, thermovision camera, detectors