

*Univerzita Palackého v Olomouci*

*Přírodovědecká fakulta*

Katedra experimentální fyziky

**VYUŽITÍ TERMOKAMERY VE VÝUCE FYZIKY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

## **ABSTRAKT**

Termografie je vědní obor, který umožňuje analyzovat a graficky znázornit teplotu na povrchu předmětů, a to bezkontaktní metodou. Úkolem diplomové práce je zpracovat studijní materiál zaměřený na problematiku termovize pro žáky středních škol. Značnou částí práce bude návrh experimentálních úloh s využitím termovizní kamery, následně jejich provedení a rozbor.

## **ABSTRACT**

Thermography is a branch of science that can analyze and graphically represent the temperature on the surface of objects, using non-contact method. The task of this thesis is to create study material focused on the issue of thermography for high school students. A considerable part of the work will be designing experimental tasks using a thermal imaging camera, then their design and analysis.

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí diplomové práce RNDr. Renatě Holubové, CSc. za odborné vedení, rady a připomínky, které přispěly ke vzniku mé diplomové práce.

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Renaty Holubové, CSc. a použila jsem literaturu uvedenou v závěru diplomové práce.

Zuzana Frňková

<b>1. Úvod</b>	<b>7</b>
<b>2. Teoretická část</b>	<b>8</b>
2.1. Historie infračerveného záření	8
2.2. Teorie termografie	10
2.2.1 Elektromagnetické spektrum	10
2.2.2 Teplota, její měření	11
2.3. Vlastnosti materiálů	14
2.3.1 Absolutně černé těleso	15
2.3.2 Ostatní zářiče	15
2.4. Základní vztahy	18
2.4.1 Planckův zákon	18
2.4.2 Wienův posunovací zákon	19
2.4.3 Stefan-Boltzmannův zákon	19
2.5. Termogram	20
2.6. Využití termografie v praxi	22
2.6.1 Stavebnictví	22
2.6.2 Zdravotnictví	23
2.6.3 Průmysl	25
2.6.4 Elektrotechnika	25
2.6.5 Fotovoltaické elektrárny	25
2.6.6 Ekologie	26
<b>3. Experimentální část</b>	<b>28</b>
3.1. Poškození vodou a vlhkostí	28
3.1.1 Charakteristiky vlhkosti	28
3.1.2 Plíseň	31
3.2. Tepelné izolace	40
3.2.1 Okna	40
3.2.2 Obvodové stěny	45
3.2.3 Stropy	53
3.3. Tepelný most	53
3.4. Vedení tepla	54
3.4.1 Tepelná výměna zářením	55
3.4.2 Tepelná výměna prouděním	55
3.4.3 Tepelná výměna vedením	55

3.4.4 Tepelná ztráta	56
3.4.5 Příklady	57
<b>4. Závěr</b>	<b>63</b>
<b>5. Literatura</b>	<b>64</b>

## 1. ÚVOD

Zateplování budov je v současné době trendem vyplývajícím hlavně ze zvyšujících se nákladů na vytápění. Zateplování nemůžeme chápat pouze jako opatření, které vede k úsporám vlastníka bytu; je to také součást našeho vztahu k životnímu prostředí a zásobám energetických zdrojů. Při správně provedeném zateplení budov dochází k výraznému snížení tepelných ztrát, následně tímto vzniká úspora nákladů na vytápění bytu. Samotným zateplením budovy se zároveň zvyšuje jednak ochrana zdiva před klimatickými faktory (déšť, sníh) a v druhé řadě hodnota a životnost dané stavby.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou termovize a s ní spojenou tepelnou izolací. V práci dále můžeme najít vzorové příklady týkající se úniku tepla.

V teoretické části diplomové práce postupně rozebírám elektromagnetické spektrum, jeho historii a přes infračervené záření se ubírám k teplotě a principu jejího měření. U bezkontaktního měření teploty se zastavím a začnu se zabývat právě termokamerou, jejími vlastnostmi a možnostmi jejího využití v praxi.

Začátek experimentální části diplomové práce je věnován vlhkosti a tvorbě plísně. Kapitola je obohacena o termogramy, kdy na jednotlivých snímcích rozebírám, v jakých místech bytu hrozí výskyt plísně, popřípadě jak se plísní bránit. V dalším textu se zabývám tepelnou izolací oken, obvodových stěn a stropů. I zde uvádím termogramy s popisem. Abych žákům přiblížila problematiku tepelné izolace, obohatila jsem kapitolu o jednoduchý příklad, kde počítám spotřebu tepla pro vytápění v panelákovém bytě; pro lepší pochopení je výsledek přepočítán také na finance, které za vytápění zaplatíme. Poslední kapitola experimentální části je věnována vedení tepla. Je obohacena o několik příkladů, které se týkají tepelných ztrát. S odkazem na kapitolu tepelné izolace zde počítám, kolik tepla projde skleněnou tabulí, popřípadě cihlovou stěnou. Stěžejní jsou zde příklady, kdy počítám únik tepla u konstrukcí, na kterých byla provedena tepelná izolace. Tyto příklady dávají žákům názornější představu o důležitosti správně provedené tepelné izolace.

Cílem diplomové práce je zpřístupnit a obohatit žákům a zájemcům fyziky problematiku termovize, dále pak ukázat několik zajímavých pokusů s termokamerou a příkladů, které si mohou sami nebo za pomoci této práce spočítat.

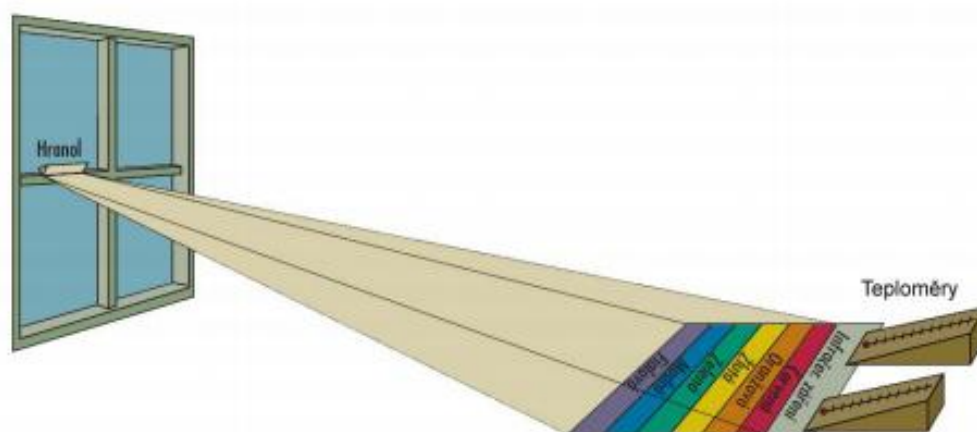
## 2. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1. HISTORIE INFRAČERVENÉHO ZÁŘENÍ

Již ve starověku řemeslníci určovali teplotu opracovávaných kovů v závislosti na měnící se jejich barvě. To jim umožňovalo vytvářet už v tehdejší době obdivuhodné nástroje, hlavně zbraně.

Infračervené záření bylo objeveno roku 1800 Frederickem Williamem Herschelem. Herschel se narodil v Německu roku 1738, od mládí se věnoval hudbě, zajímal se však také o přírodní vědy a studoval cizí jazyky. Roku 1755 se spolu s rodinou odstěhoval do Anglie, kde se roku 1782 stal po svém objevu nové planety Uran dvorním astronomem krále Jiřího III.

Objev infračerveného záření byl učiněn náhodně při hledání nového optického materiálu pro optický filtr, kterým by se při pozorování Slunce snížil jas obrazu v dalekohledech. Herschel používal pro svá pozorování Slunce barevná skla. Zjistil, že při každé změně barvy sklíčka je tepelný efekt různý. Rozhodl se provést jednoduchý pokus, při kterém rozložil bílé sluneční světlo pomocí hranolu a ve spektru pohyboval rtuťovým teploměrem. Výsledná naměřená teplota se přitom lišila, směrem k červené části spektra rostla. I přes předpoklady teplota při přesunu teploměru mimo červené viditelné spektrum rostla. Bod maxima našel poměrně daleko od červeného konce – v místě, kterému se dnes říká infračervené vlnové pásmo. Herschel nazval tuto část elektromagnetického spektra termometrické spektrum. Samotné záření označoval jako tmavé teplo nebo také neviditelné paprsky. Herschel nebyl ten, kdo vytvořil termín infračervený. Tento název se začal vyskytovat až o 75 let později v tisku a je stále nejasné, kdo je jeho původcem. [2, 16]



Obrázek 1: *Herschelův pokus* [16]



Teploměry se jako detektory záření používaly až do roku 1829, kdy Ital Leopoldo Nobili vynalezl ve Florencii termočlánek. Termočlánek se používá především jako čidlo teploty, ale může být použit také jako zdroj elektrického proudu. Termočlánek se skládá ze dvou kovů zapojených do série se dvěma spoji. Jestliže mají spoje jinou teplotu, vzniká na každém ze spojů elektrický potenciál, který je zdrojem proudu. Nobili používal termočlánek vyrobený z bismutu a antimonu, zhotovil jich přes dvě stovky. Poté se na scénu dostal italský fyzik Macedonio Melloni. Ten využil faktu, že výkon jednotlivých termočláneků je velice malý, a tak připojil určitý počet termočláneků do série, a vytvořil tak první termoelektrickou baterii. Toto nové zařízení bylo pro detekci tepelného záření přibližně 40krát citlivější než tehdejší nejlepší teploměry - bylo schopné detekovat teplo osoby stojící až v třímetrové vzdálenosti. Tomuto článku se začalo říkat Nobili-Melloniho termočlánek. [2]

Roku 1940 syn objevitele infračerveného záření Fredericka Williama Herschela John Herschel vytvořil první tepelný obraz. Na základě diferenciálního odpařování tenké vrstvy oleje, na které zaměřil tepelné záření, bylo možné spatřit tepelný odraz díky odraženému světlu, jelikož interferenční účinky olejové vrstvy zajistily, že obraz byl pro lidské oko viditelný. Sir John Herschel také vytvořil jednoduchý záznam teplotního obrazu na papír, který poté nazval termograf. [2]

Vylepšování detektoru infračerveného záření pokračovalo pomalu. Další významný pokrok učinil roku 1880 americký badatel Samuel Pierpont Langley, který vynalezl bolometr. [2]

V letech 1900-1920 objevili infračervené pásmo i další světoví vynálezci. V tomto období byly uděleny mnohé patenty, které sloužily pro výrobu zařízení k detekci osob, dělostřelectva, letadel, lodí, a dokonce i ledovců. První taková zařízení začala být vyvíjena během první světové války (1914-1918), kdy obě strany prováděly výzkumné programy zaměřené na vojenské využití infračerveného záření (experimentální systémy k detekci pronikání nepřítele, měření teploty na dálku, zabezpečenou komunikaci, navádění létajících torpéd atd.). Infračervený vyhledávací systém byl schopen detekovat blížící se letadlo na vzdálenost 1,5 kilometrů nebo osobu na vzdálenost větší než 300 metrů. [2]

Až do této doby byly všechny systémy založeny na obměnách bolometru, ale v meziválečném období byly vyvinuty dva nové infračervené detektory: konvertor obrazu a fotonový detektor. O konvertor obrazu se zpočátku zajímala hlavně armáda, neboť jako první umožňoval pozorovateli doslova vidět ve tmě. Problém byl však v citlivosti konvertoru obrazu, ta byla omezena na blízké infračervené vlnové délky, a proto většina zajímavých vojenských cílů (např. nepřátelští vojáci) musela být osvětlována infračervenými

vyhledávacími paprsky. Tímto však vznikalo riziko, že poloha pozorovatele bude prozrazena obdobně vybavenému pozorovateli nepříteli, tak je pochopitelné, že vojenský zájem o konvertor obrazu brzy zanikl. [2]

Vojensko-taktické nevýhody aktivních (vybavených vyhledávacím paprskem) systémů teplotního obrazu byly po 2. světové válce (1939 – 1945) hybnou silou pro tajné vojenské programy k výzkumu infračerveného spektra zaměřené na vývoj pasivních (bez vyhledávacího paprsku) systémů s využitím velice citlivého fotonového detektoru. V této době vojenské bezpečnostní předpisy zakazovaly zveřejňování informací o infračervené zobrazovací technice. V polovině padesátých let bylo toto utajení zrušeno. Od té doby jsou teplotní zobrazovací zařízení k dispozici civilnímu sektoru, průmyslu i vědě. [2]

## **2.2. TEORIE TERMOGRAFIE**

Termografie je měřicí metoda, která umožňuje graficky znázornit teplotu na povrchu sledovaného objektu. Dělí se na termografii kontaktní (snímač je přiložen k povrchu tělesa) a bezkontaktní (snímač se nachází mimo povrch tělesa). Obor termografie se rozvinul společně s rozšířením infračervených kamer, pro které se obecně vžil název termovizní kamera, respektive termovize. Tento termín pochází od prvního výrobce infračervených kamer, firmy Thermovision, dnes FLIR.

### **2.2.1 ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM**

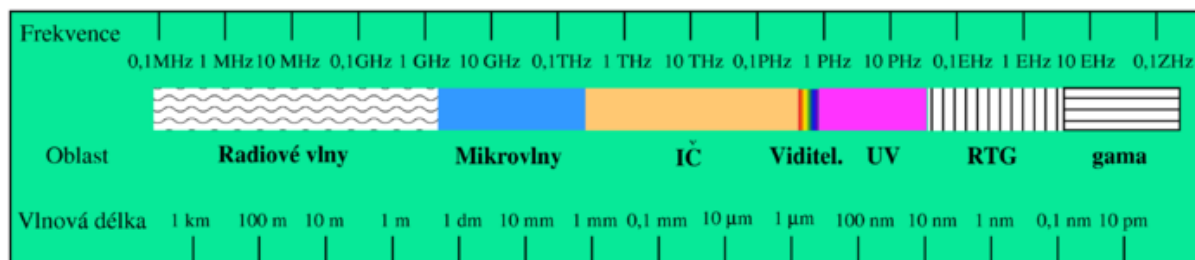
Elektromagnetické spektrum je rozděleno podle vlnové délky do několika skupin, kterým se říká vlnová pásma. Lidské oko je schopné zachytit pouze úzkou oblast energie vyzařené Sluncem. Takovou oblast nazýváme světlo a nachází se přibližně v rozsahu 400 nm – 750 nm. Kdybychom mohli vnímat i světlo, které má delší vlnovou délku, výrazně by se nám zlepšila schopnost vidění ve tmě. Tento druh záření se nazývá infračervené, má vlnovou délku 760 nm – 1 mm. Infračervené záření dělíme do čtyř menších pásem: blízké (0,75  $\mu\text{m}$  – 3  $\mu\text{m}$ ), střední (3  $\mu\text{m}$  – 6  $\mu\text{m}$ ), vzdálené (6  $\mu\text{m}$  – 15  $\mu\text{m}$ ), velmi vzdálené (15  $\mu\text{m}$  – 100  $\mu\text{m}$ ). V tomto spektrálním pásmu používáme mimo mikrometry i jiné jednotky, například nanometry nebo Ångströmy (Å). [2, 16]

Vztah mezi těmito jednotkami je následující:

$$10000 \text{ Å} = 1000 \text{ nm} = 1 \mu$$

Infračervené záření jsme schopni vnímat pouze změnou teploty pokožky. Energii skrze infračervené záření přitom vyzařují i tělesa, jejichž teplota je vyšší než absolutní nula.

Infračervené záření tedy můžeme detekovat u všech těles. A právě toto záření využívá termografie.



Obrázek 2: Rozdělení elektromagnetického spektra [42]

## 2.2.2 TEPLOTA, JEJÍ MĚŘENÍ

Teplota je stavová veličina charakterizující termodynamický stav jakékoliv makroskopické soustavy a ovlivňující mnoho vlastností materiálů. Teplota je druhou nejčastěji měřenou fyzikální veličinou hned po čase. Je to veličina, která charakterizuje, jestli látka při tepelném kontaktu s látkou jinou bude, či nebude v tepelné rovnováze, tedy jestli bude či nebude teplo přijímat nebo odevzdávat. O tělesech, která se nachází v rovnovážném stavu, říkáme, že mají stejnou teplotu. [4, 39]

K měření teploty se používají různé teplotní stupnice. Za základní teplotní stupnicí je stanovena termodynamická teplotní stupnice s jednotkou Kelvin, která má počátek v absolutní nule (0 K). Dalším významným bodem termodynamické stupnice je trojný bod. Je to bod, kdy se látka vyskytuje ve všech třech skupenstvích současně (pevném, kapalném, plynném). Například pro vodu trojný bod odpovídá teplotě  $273,16 \text{ K} = 0,01^\circ\text{C}$ . Mezi další známé teplotní stupnice patří Celsiova teplotní stupnice. Tato teplotní stupnice má dva základní body, bod mrazu vody ( $0^\circ\text{C}$ ) a bod varu vody ( $100^\circ\text{C}$ ). Existují i další teplotní stupnice, například Fahrenheitova teplotní stupnice ( $^\circ\text{F}$ ).

Termodynamickou teplotu je zvykem značit  $T$ , Celsiovu teplotu  $t$ . Mezi těmito stupnicemi platí následující vztah:

$$t = (T - 273,15)^\circ\text{C}$$

$$T = (t + 273,15)\text{K}$$

### Dotykové měření teploty

K měření teploty používáme teploměry. Ve většině případů je princip teploměru založen na tepelné roztažnosti jednotlivých látek, kdy je objem měrné látky závislý na její teplotě. Takové teploměry se nazývají dilatační. Nejčastějším dilatačním teploměrem je teploměr skleněný. Skládá se z baňky, kapiláry opatřené na konci jímkou, která chrání teploměr před roztržením při přehřátí, stupnice a skleněného obalu. Běžné skleněné teploměry

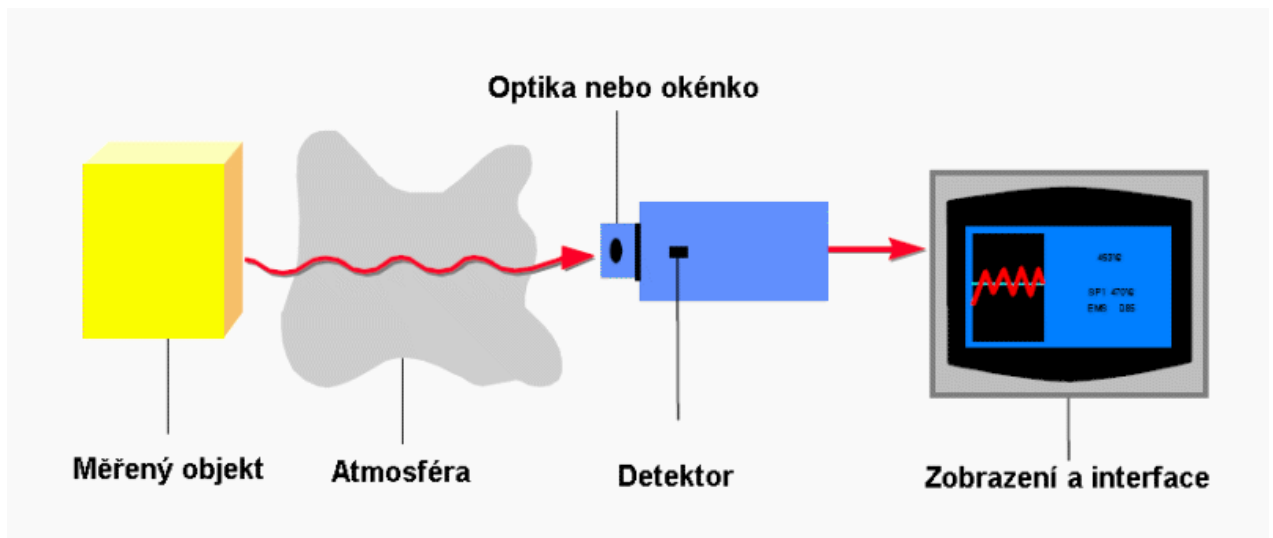
mají rtuťovou nebo lihovou náplň. Rtuťové teploměry se používají pro přesnější měření, mají rozsah od  $-38^{\circ}\text{C}$  do  $350^{\circ}\text{C}$ , lihové teploměry se hodí pro méně náročné měření, jejich rozsah je od  $-110^{\circ}\text{C}$  do  $70^{\circ}\text{C}$ . Skleněné teploměry jsou jednoduché a spolehlivé, avšak jejich velkou nevýhodou je jejich křehkost. [4, 39]

### **Bezdotykové měření teploty**

Vývoj infrateploměru (=radiační teploměry, které jsou určeny k měření záření vysílaném tělesy do okolí) a termovizních kamerových systémů byl zaznamenán ve 20. století. Již roku 1931 objevily světlo světa první komerčně dostupné radiační teploměry.

Bezdotykové měření teploty je velice jednoduché, stačí pouze namířit na měřený objekt a na displeji odečíst teplotu, jak vidíme na obr. 3. Infračervený měřicí systém lze přirovnat k lidskému oku. Oční čočka představuje optiku, skrz kterou záření z měřeného objektu dopadá přes atmosféru na fotocitlivou vrstvu - oční sítnici. Zde je záření přeměněno na signál, který je vysílán do mozku. [4, 5, 31]

Pro dosažení co nejpřesnějších hodnot je potřebné znát alespoň základní principy a vlastnosti tohoto měření.



Obrázek 3: *Bezdotykové měření teploty* [31]

Základní dělení bezdotykového měření teploty je na detektory tepelné a kvantové. Detektor tvoří jádro infračervených teploměru, převádí přijaté infračervené záření na elektrický signál.

### **Tepelné detektory**

Tepelné detektory jsou nejčastěji používanými detektory infrateploměru. Mezi tepelné detektory patří bolometry, pyrometry, termočlánky a termistory. Tyto detektory využívají

změny některé vlastnosti materiálu na základě absorpce energie infračerveného záření. Výhodou je, že nepotřebují chlazení a jsou cenově levnější než detektory kvantové. [4, 5, 15]

### **Kvantové detektory**

Na rozdíl od tepelných detektorů kvantové detektory nepřeměňují dopadající záření na teplo, ale mění přímo dopadající fotony na elektrický signál. Mezi kvantové detektory patří fotodioda, fotoodpor a fototranzistor. Nevýhodou oproti tepelným detektorům je jejich problém s chlazením. Také cenově jsou mnohem dražší. [4, 5, 15]

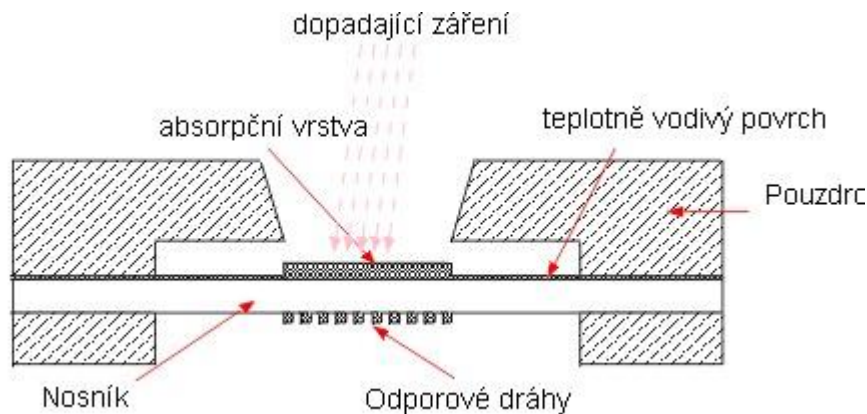
Při studiu termokamer nás budou zajímat pouze bezdotykové tepelné detektory nazývající se bolometry.

### **Bolometry**

Slovo bolometr pochází z řeckého slova bole = paprsek. Bolometry pracují na principu pyrometrie - měří celkový vyzářený tepelný výkon prostřednictvím infračerveného záření. Častěji se bolometry vyskytují v podobě integrovaných obvodů obsahujících uspořádání několika stovek nebo i tisíců bolometrů do matice, obecně označované jako mikrobolometry. Tyto mikrobolometry najdeme v termovizních kamerách. [5, 35]

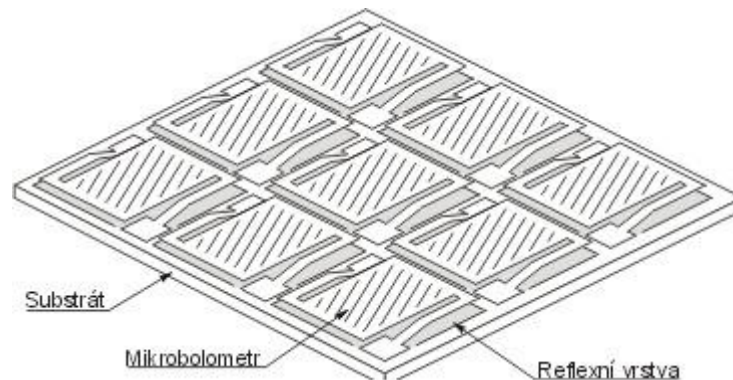
Princip bolometru je podobný kovovým odporovým sensorům teploty. Elektrický odpor bolometru se mění v závislosti na jeho teplotě, která závisí na množství absorbovaného dopadajícího infračerveného záření. Množství tohoto dopadajícího záření může být určeno ze změn odporu bolometru. Aby byla změna teploty bolometru úměrná pouze absorbovanému infračervenému záření, musí být bolometr tepelně izolován od svého okolí. [5, 35]

Strukturu jednoduchého bolometru vidíme na obr. 4. Dopadající infračervené záření je pohlcováno absorpční vrstvou, která je tvořena zlatou fólií. Dochází zde k pohlcení až 95% záření a ohřátí teplotně vodivého povrchu nosníku. Na spodní straně nosníku je napařena odporová vrstva, která svůj odpor mění lineárně s teplotou. [35]



Obrázek 4: *Bolometr* [35]

Mikrobolometr se liší od jednoduchého bolometru počtem odporových plošek na jednom senzoru. Obvykle vytváří čtvercovou strukturu, která je pokryta teplotně citlivým odporovým materiálem ve formě plošek, které absorbují infračervené záření. [35]



Obrázek 5: Mikrobolometr[35]

### **Výhody termovizního měření teploty**

- rychlost (v milisekundovém rozsahu)
- umožňuje měření pohybujících se objektů
- umožňuje bezpečné měření teploty na nebezpečných nebo těžko dostupných místech
- možnost měřit velmi vysoké teploty (nad 1300 °C)
- nedochází k mechanickému opotřebení snímaného objektu

### **Nevýhody termovizního měření teploty**

- nejistota měření z důvodu nepřesného stanovení emisivity
- nejistota vzniklá tepelnými odrazy
- nejistota způsobená neznalostí správné hodnoty propustnosti prostředí
- měřený objekt musí být opticky (infračerveně opticky) viditelný - pro dosažení nejlepších výsledků měření musíme zajistit prostředí s co nejmenším množstvím prachu či kouře

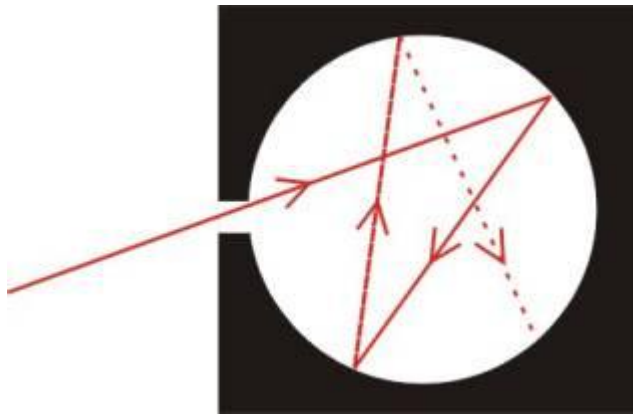
## **2.3. VLASTNOSTI MATERIÁLŮ**

Při popisu vlastností materiálů si nejdříve musíme objasnit pojem absolutně černé těleso.

### 2.3.1 ABSOLUTNĚ ČERNÉ TĚLESO

Absolutně černé těleso je těleso ideální, neboť pohlcuje veškeré záření všech vlnových délek dopadajících na jeho povrch. Nepochází k žádnému odrazu záření, tudíž se nám toto těleso jeví za nízkých teplot jako dokonale černé. [2, 18, 21]

Toto těleso si můžeme představit jako dutinu, jejíž vnitřní povrch tvoří matná černá plocha. Ta je zde použita z důvodu, že lépe pohlcuje záření. Pronikne-li otvorem do dutiny elektromagnetické záření, tak se veškerá energie při opakovaných odrazech od stěn dutiny pohltí. Otvor dutiny se pak jeví jako černé těleso. [3, 18, 21]



Obrázek 6: *Absolutně černé těleso* [21]

Když tuto dutinu opatříme vhodným zdrojem tepla, stane se z ní takzvaný dutinový zářič. Dutina zahřátá na konstantní teplotu vytváří záření černého tělesa, přičemž charakteristika takového záření je určována teplotou dutiny. Při překročení teploty  $525^{\circ}\text{C}$  se zdroj záření jeví jako viditelný, při teplotě nižší není toto záření viditelné a leží v infračervené oblasti. Můžeme si to vysvětlit na následujícím příkladu s kameny: jestliže je právě zatopeno, barva plotýnky se nám jeví jako černá, čím více budeme do kamen přikládat, tím bude plotýnka na kamnech červenější; pokud bychom přikládali ještě více, barva plotny by se přibližovala k bílé až světle modré barvě. Bílá barva kamen je dána tím, že v záření jsou zastoupeny všechny vlnové délky viditelné části spektra ve správném poměru. Při dalším zvyšování teploty se tento poměr naruší, a proto se nám plotýnka bude jevit v barvě světle modré. [3, 18, 21]

### 2.3.2 OSTATNÍ ZÁŘIČE

V předešlých řádcích jsme se zmiňovali pouze o zářičích ve formě absolutně černého tělesa. Reálné objekty se však od něj odlišují a neřídí se v delších intervalech vlnových délek stejnými zákony, jako absolutně černé těleso. Zavedeme si tři speciální vlastnosti,

kterými se skutečné objekty odlišují od absolutně černého tělesa. Jedná se o emisivitu, reflexi a transmisi.

### **Emisivita**

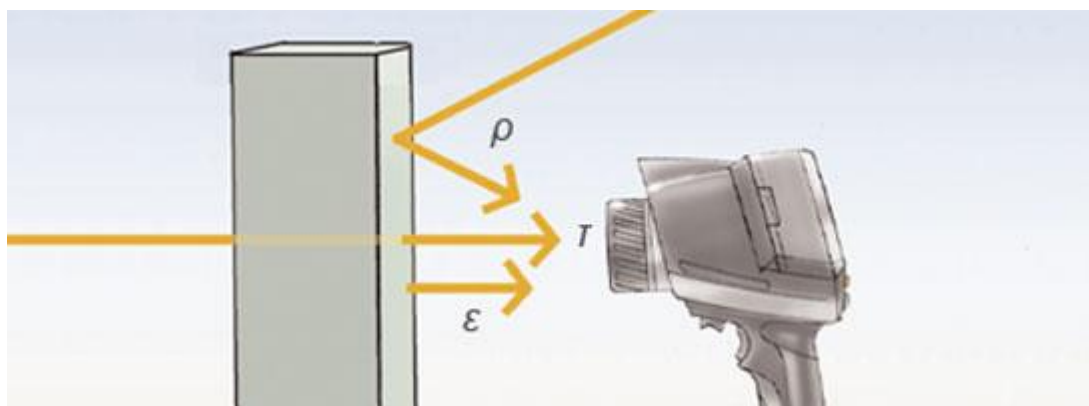
Emisivita je nejdůležitější parametr objektu, který musí být správně určen. Je to schopnost materiálů vysílat infračervené záření. Emisivita je definována jako poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa o stejné teplotě. Je to bezrozměrná veličina a značí se  $\mathcal{E}$ . Číselně tak vyjadřuje zhoršení vyzařovacích vlastností reálného tělesa ve srovnání s absolutně černým tělesem a závisí na vlnové délce vyzařování a na teplotě tělesa. Emisivita nabývá hodnot od 0 do 1, přičemž právě jen absolutně černé těleso má emisivitu rovnu 1, reálná tělesa mají emisivitu vždy menší, protože záření navíc odrážejí a případně předávají. Emisivita není obecně konstantní, záleží na řadě parametrů: teplotě objektu, vlnové délce, barvě a struktuře povrchu. Tělesa, která mají emisivitu menší než 1, se nazývají šedá tělesa a tělesa, jejichž emisivita závisí na teplotě a vlnové délce, se nazývají ne – šedá tělesa. [2, 37, 40]

### **Reflexe**

Reflexe je schopnost materiálů odrážet infračervené záření, závisí na charakteru povrchu, druhu materiálu, teplotě, barvě a úhlu odklonu snímače od normály povrchu. Zpravidla větší hodnotu reflexe mají materiály hladké a leštěné než matné povrchy stejného materiálu. [37, 40]

### **Transmise**

Transmise je schopnost materiálů předat (vpustit) infračervené záření. Transmise závisí na druhu a tloušťce materiálů. Většina materiálů je pro dlouhovlnné infračervené záření netransmisivní (nepropustné). [37, 40]



Obrázek 7: *Emisivita, reflexe, transmise* [37]



Celkové množství vyzařené energie měřeného objektu se celkem skládá ze 3 záření: z emitovaného záření ( $\varepsilon$  – emisivita), odraženého záření ( $\rho$  – reflexivita) a procházejícího záření ( $\tau$  – transmisivita).

Součet těchto tří záření je roven jedné, ovšem transmisivitu u pevných látek lze považovat za nulovou, protože záření v infračerveném pásmu pevnými materiály neprochází. Tudíž pro emisivitu dostáváme vztah

$$\varepsilon = 1 - \rho \quad (1)$$

Ze vztahu (1) vyplývá nízká hodnota emisivity ( $\varepsilon < 0,1$ ) pro materiály s lesklým povrchem (zrcadlo, leštěné kovy), naopak pro materiály s nelesklým povrchem (dřevo, plasty, guma, beton) je hodnota emisivity vysoká. Například lidská pokožka má emisivitu 0,97 – 0,98. [2]

Do kvalitnějších termokamer se před samotným měřením zadává faktor emisivity a teplotní odrazy v měřeném prostředí, reflexi si už termokamery dopočítávají samy z výše uvedeného vztahu. Zjištění emisivity měřeného objektu může být provedeno několika metodami.

#### **Zjištění emisivity materiálu**

1) Vyhledání koeficientu emisivity materiálu v tabulkách - nejjednodušší metoda, hodnoty uvedené v tabulkách musíme brát pouze jako orientační, vady na povrchu materiálu (oxidace, zvlnění) nebo změny teploty ovlivňují hodnotu emisivity, a tím dochází k jejímu zkreslení. [31]

2) Ohříváním měřeného vzorku na známou teplotu - měřený materiál (nebo jeho část) zahřejeme na známou teplotu, poté se provede měřicím zařízením měření teploty, pokud si tyto dvě hodnoty neodpovídají, musíme upravit hodnotu nastavené emisivity. [31]

3) Využití nátěru nebo dodatečného materiálu se známou emisivitou - při nižších teplotách nalepíme na měřený objekt speciální plastovou nálepku, jejíž emisivitu známe, následně měřicím přístrojem změříme teplotu zkoumaného objektu a nálepky, pokud si teploty nebudou odpovídat, je třeba emisivitu upravit. [31]

#### **Měření tepelných odrazů**

– tepelné odrazy jsou složeny z průměrné teploty okolních objektů, které se vyskytují před měřeným objektem

– na termokameře nastavíme emisivitu rovnu jedné a změříme teplotu největšího tepelného zdroje (vzduch)

– s využitím plochy s dobrou odrazivostí (hliníková fólie), na které se provádí měření, získáme hodnotu tepelného odrazu prostředí [31]

Jak tedy termokamera vypočítává teplotu? Při běžném používání je emisivita nastavena na hodnotu 0,95 (typické ve stavební termografii) a odrážená teplota na 20°C. Termokamera vypočte z intenzity přijatého infračerveného záření teplotu podle následujícího postupu: 95% přijatého záření pochází od samotného objektu a zbývajících 5% je odrazem objektů s teplotou 20°C. Z tohoto vyplývá, že jestliže je emisivita nastavena na hodnotu 1,00, není do výpočtu teploty zahrnuta nastavená odrážená teplota. Také můžeme říci, že pokud je emisivita měřeného povrchu nízká, není možné určit teplotu tohoto objektu bezkontaktním způsobem (je to stejné, jako bychom chtěli ve viditelném spektru říci, jakou barvu má zrcadlo). [33]

## 2.4. ZÁKLADNÍ VZTAHY

S termografií se pojí několik fyzikálních zákonů, bez kterých se přesné měření neobejde. Pomocí těchto zákonů je vyjádřeno vyzařování absolutně černého tělesa. Budeme mluvit o Planckově zákonu, Wienově posunovacím zákonu a Stefan-Boltzmannově zákonu.

### 2.4.1 PLANCKŮV ZÁKON

Planckův zákon vyjadřuje závislost intenzity záření absolutně černého tělesa na termodynamické teplotě a vlnové délce. Tedy každé těleso, které má povrchovou teplotu vyšší než absolutní nula, vysílá elektromagnetické záření o vlnové délce odpovídající jeho teplotě. [2, 27, 28]

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left( e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

$W_{\lambda b}$  – spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa při vlnové délce  $\lambda$  ( $W \cdot m^{-3}$ )

$c$  – rychlost světla ( $3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )

$h$  – Planckova konstanta ( $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ )

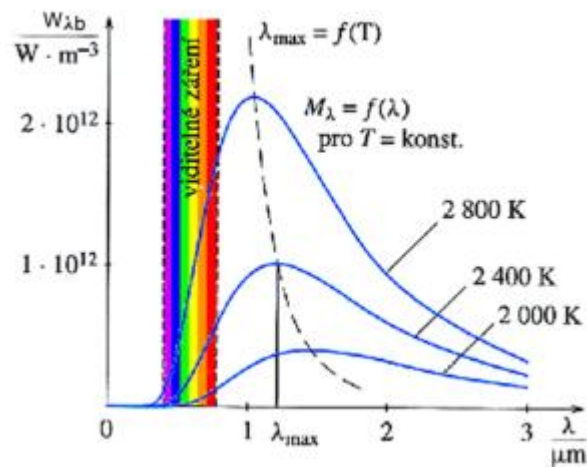
$k$  – Boltzmannova konstanta ( $1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$T$  – absolutní teplota černého tělesa (K)

$\lambda$  – vlnová délka (m)

Grafickým znázorněním Planckova zákona dostaneme soustavu křivek. Při zkoumání jedné z nich zjistíme, že při  $\lambda = 0$  se spektrální hustota vyzařování rovná nule. S rostoucí vlnovou délkou křivka prudce stoupá, až dosáhne maxima v  $\lambda_{max}$ . Poté se vlnová délka opět

začne přibližovat k nule. Čím je teplota tělesa vyšší, tím kratší je vlnová délka, při které dojde k dosažení maxima. [2, 27, 28]



Obrázek 8: Planckův zákon [16]

#### 2.4.2 WIENŮV POSUNOVACÍ ZÁKON

Zákon vyjadřuje změnu vlnové délky, na které je vyzařovaná energie absolutně černého tělesa maximální, v závislosti na změně termodynamické teploty. Čím bude vyšší teplota, tím se bude vlnová délka vyzařovaného záření zkracovat (viz obr. 8). [2, 27, 28]

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (3)$$

$\lambda_{max}$  – vlnová délka maxima vyzařování (m)

$T$  – termodynamická teplota černého tělesa (K)

$b$  – Wienova konstanta ( $b = 2,898 \cdot 10^{-3} m \cdot K$ )

#### 2.4.3 STEFAN-BOLTZMANNŮV ZÁKON

Stefan-Boltzmannův zákon popisuje celkovou intenzitu záření absolutně černého tělesa. Zákon říká, že intenzita vyzařování přímo úměrně roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa. Avšak v reálných podmínkách se s absolutně černým tělesem nesetkáme, proto je potřeba Stefan-Boltzmannův vztah doplnit o emisivitu  $\epsilon$  daného tělesa. [2, 27, 28]

$$W_b = \epsilon \sigma T^4 \quad (4)$$

$W_b$  – spektrální hustota intenzity vyzařování černého tělesa ( $Watt/m^2$ )

$\epsilon$  – emisivita tělesa

$\sigma$  – Stefan-Boltzmannova konstanta ( $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ )

$T$  – termodynamická teplota (K)

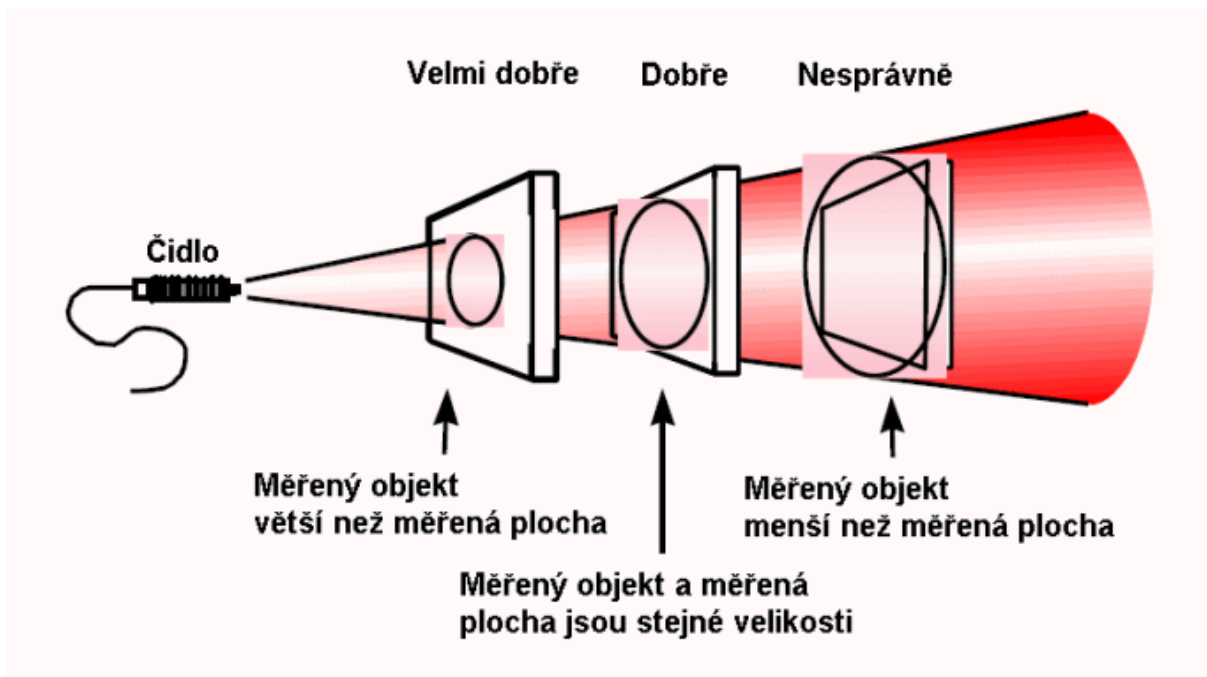
Graficky  $W_b$  je výkon znázorněný plochou pod křivkou, která je vytvořena podle Planckova zákona pro určitou teplotu (viz obr. 8). [2]

## 2.5. TERMOGRAM

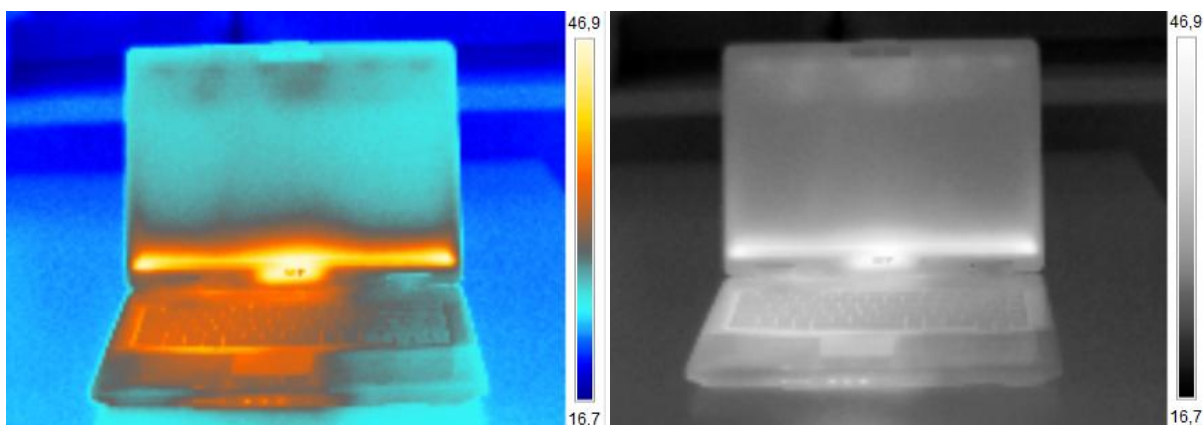
Výstupem z termovizní kamery je infračervený snímek nazývaný termogram, respektive termovizní snímek. Termokamery uživateli umožní určit teplotu v jednotlivých bodech termogramu. Infračervené záření je pro lidské oko neviditelné, z tohoto důvodu se termovizní snímky vizualizují do viditelného spektra za pomoci různých barevných palet, které přiřazují jednotlivým teplotám různé barvy. Pro lepší představu lze také použít na termokameře funkci izoterma, která zabarví kontrastní barvou všechny pixely, které mají teplotu vyšší nebo nižší, než je předem stanovená teplotní úroveň. Stejný snímek tak lze znázornit v odlišných paletách, a tím zviditelnit jiná místa. Mezi nejčastěji objevované barevné palety v termografii patří: polárně ledová, šedá, železo, lávová, duha, vysoce kontrastní duha.

Termogramy se dělí na dva typy: radiometrické a neradiometrické (pouze zobrazující). Neradiometrické termogramy se používají výhradně k bezpečnostním účelům, neprovádí se kvantitativní vyhodnocení snímků. Radiometrické termovizní snímky nám umožní vypočítat teplotu na povrchu měřeného objektu. Zároveň nám tento typ termogramu umožňuje provádět měření teplot a upravovat parametry snímku (emisivita, vzdálenost od měřeného objektu, údaje o okolní atmosféře,...) i po jeho uložení. [28, 38]

Naměřenou hodnotu teploty v bodě ovlivňuje velikost obrazového bodu detektoru (nejmenší prvek digitálního obrazu, obsahuje informace o intenzitě a barvě světla). Například, zajímá-li nás objekt umístěný ve větší vzdálenosti, může měření ovlivnit i velikost snímané plochy. Bude-li velikost snímaného obrazového bodu větší než měřený objekt, pak výsledek měření bude ovlivněn také okolím měřeného objektu. V takovém případě se do měření vnese nejistota způsobena okolím a výsledek dále nemůžeme zpracovávat (viz obr. 9). Měřený objekt musí plně vyplňovat měřenou plochu, jinak jsou naměřené hodnoty nesprávné! [35, 38]

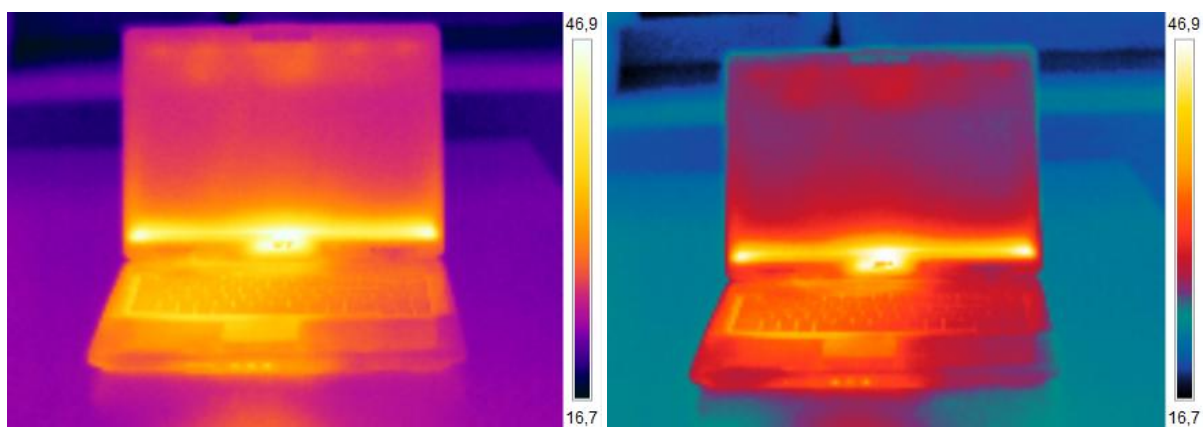


Obrázek 9: Ukázka správné a nesprávné vzdálenosti měřeného objektu a čidla [31]



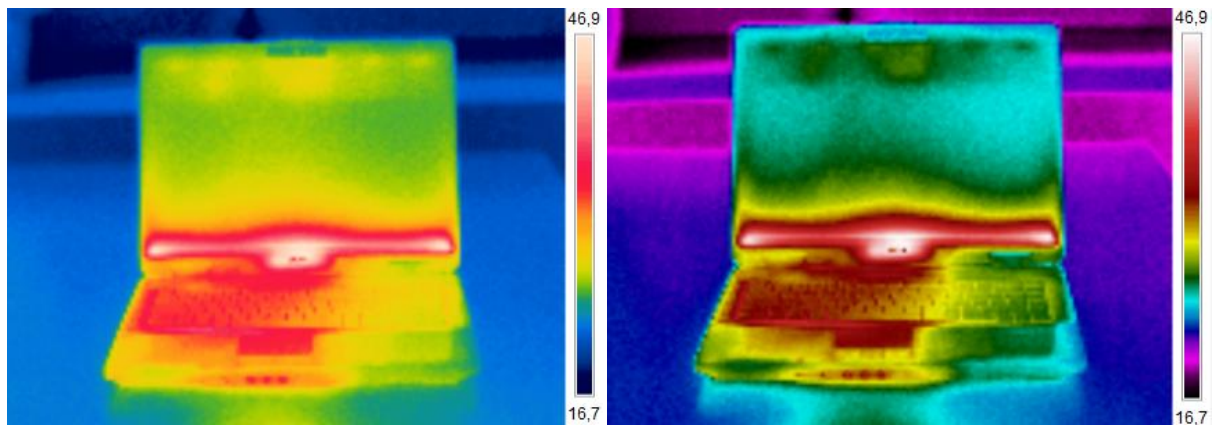
Polárně ledová

Šedá



Železo

Lávová



Duha

Vysoce kontrastní duha

Obrázek 10: *Barevné palety*

## 2.6. VYUŽITÍ TERMOGRAFIE V PRAXI

Termografie má v praxi nenahraditelný význam. Nachází uplatnění v mnoha vědních oborech, v průmyslu či zdravotnictví.

### 2.6.1 STAVEBNICTVÍ

V posledních letech se ve velkém využívá termografie k měření úniku tepla na povrchu stavebních konstrukcí. Termografie pomáhá odhalit také konstrukční vady vzniklé například stářím objektu, špatně odvedenou prací či navlháním zdiva. Abychom během měření dosáhli co nejlepších výsledků, je třeba dbát na správnou teplotu okolí. Tento druh měření je nejlepší provádět v zimním období, kdy je dobře znát rozdíl teploty venkovní a teploty uvnitř měřeného objektu. Doporučen je teplotní rozdíl mezi vnitřním a vnějším prostředím minimálně 20°C. Zároveň se měření musí provádět na objektech, jejichž vnější povrch nebyl v průběhu alespoň 8 hodin ovlivněn zisky ze slunečního záření a není osluněn ani v průběhu měření. Těmto podmínkám vyhovují ranní hodiny před východem Slunce nebo v případě, že je zataženo, lze měřit i během dne. Omezení pro měření termokamerou představuje déšť, sněžení a vítr. [33]

Termokameru můžeme používat jak v exteriérech, tak i interiérech. Exteriérová sledování termokamerou jsou zaměřena především na kontroly tepelně technických konstrukcí tvořících obálku budovy. Jedná se o konstrukce na hranici vnitřního prostředí a exteriéru, u nichž pomocí termovize rychle odhalíme místa zvýšených tepelných ztrát. Termografie podá rychlou informaci o celkovém stavu obvodového pláště a odhalí, která místa konstrukce se jeví jako nejvíce ztrátová vzhledem k hospodaření s teplem. [33]

Interiérová sledování staveb slouží také ke kontrole tepelně technických vlastností obálky staveb, k lokalizaci poruch v plášti budovy při návaznosti na termovizi z vnější strany. I zde je požadován teplotní rozdíl na obou stranách konstrukcí. Měření v interiéru nám pomůže odhalit riziková místa s nízkou povrchovou teplotou, kde hrozí kondenzace vodních par a následný vznik plísní. [33]

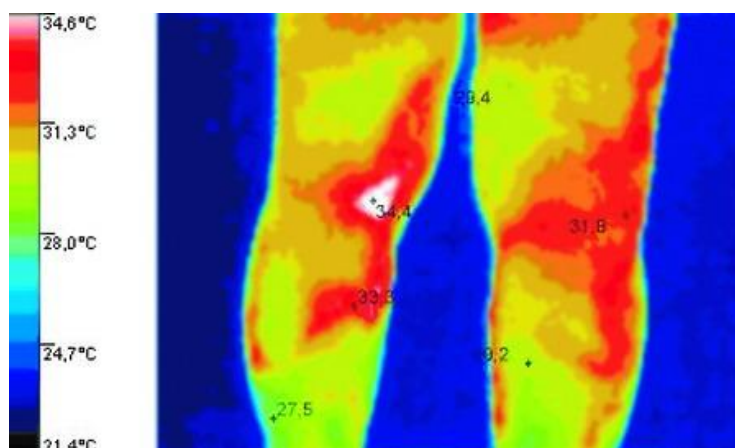
## 2.6.2 ZDRAVOTNICTVÍ

Termovize se využívá i v medicíně jako pomocná diagnostická metoda. Termokamera může být využita například v plastické chirurgii při kontrole hojení transplantátů nebo při diagnostice různých zánětů či poruch prokrvení. Při použití kamery s vyšší citlivostí lze diagnostikovat také zhoubná nádorová onemocnění – například prsu, štítné žlázy, kloubů atd. Pomocí termografických metod je možné předejít různým závažným onemocněním v prvotních stádiích vzniku. Diagnostiku lze rozdělit do dvou skupin – v první skupině se jedná o nalezení ložisek infekcí a zánětů, které vedou ke zvýšení teploty infikované oblasti a druhou skupinou je nedokrvení, které se projevuje naopak snížením teploty postižené oblasti. Mezi hlavní zástupce první skupiny jistě patří nádorová onemocnění. U takového onemocnění je potřeba infikovaná ložiska odhalit co nejdříve. [35]

Princip užití termovize ve zdravotnictví je přitom velmi jednoduchý. Vyšetřovací místnost musí mít určitou stálou teplotu. Pacient se v této místnosti musí po dobu dvaceti minut aklimatizovat a snímaná část těla musí být obnažena. Kamera pak prostým stisknutím jediného tlačítka zobrazí snímek, který dále vyhodnocujeme na počítači přes kvalitní software. Na snímku uvidíme místa s různými teplotami, nejstudenější části se zobrazují modře až černě, nejteplejší pak žlutě až bíle (záleží na volbě barevné palety). Výrazně vyšší teploty nás pak upozorňují, že v daném místě není něco v pořádku. Ale co, to už musí být zjištěno jinou metodou. Tato metoda se až na malé výjimky musí kombinovat s metodami dalšími (sonografie, rentgen, magnetická rezonance, aj.), protože na základě termovize vzniklo hodně falešných diagnóz – byl například diagnostikován nádor, který ve skutečnosti nebyl. Diagnostika lidského těla je značně komplikovaná, měření je ovlivněno mnoha faktory. [35]

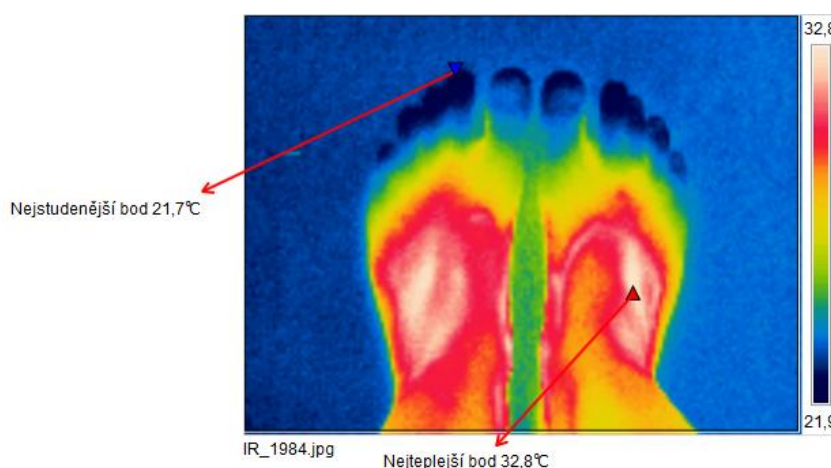
Zdravý lidský organizmus si udržuje stálou tělesnou teplotu kolem 36°C a 37°C. Aby měření bylo co nejpřesnější, je třeba před samotným měřením adaptovat tělo na výrazně nižší teploty, aby byly změny patrnější. Také v místech výskytu ochlupení dochází k zadržování tepla, a tedy ke znehodnocení měření. [35]

Na rozdíl od jiných metod je termovize naprosto bezpečná, nedochází zde k žádnému ovlivnění organismu.



Obrázek 11: *Termogram dolních končetin* [26]

Na obr. 11 můžeme vidět termogram dolních končetin. Místa s výrazně vyšší teplotou obvykle naznačují, že něco není v pořádku. V tomto případě byly termovizí diagnostikovány varixy (nejteplejší – bílá barva, varixy = žilní městek, také křečové žíly, vznikají jako následek dlouhodobého přetěžování žíly nadměrným množstvím krve; žilní stěna ochabuje, žíla se rozšiřuje a dochází k poškozování jejích chlopní; výsledkem je zhoršený odtok krve z žíly). [26]



Obrázek 12: *Termogram chodidel*

Na obr. 12 můžeme vidět termografický snímek chodidel. Na obrázku je vyznačen nejteplejší a nejstudenější bod. Velký teplotní rozdíl mezi těmito dvěma body je způsoben nedostatečným prokrvením dolních končetin. Tato nemoc se nazývá ischemická choroba dolních končetin. Typicky se projevuje například pocitem studených nohou nebo také bolestí lýtek při chůzi.



### **2.6.3 PRŮMYSL**

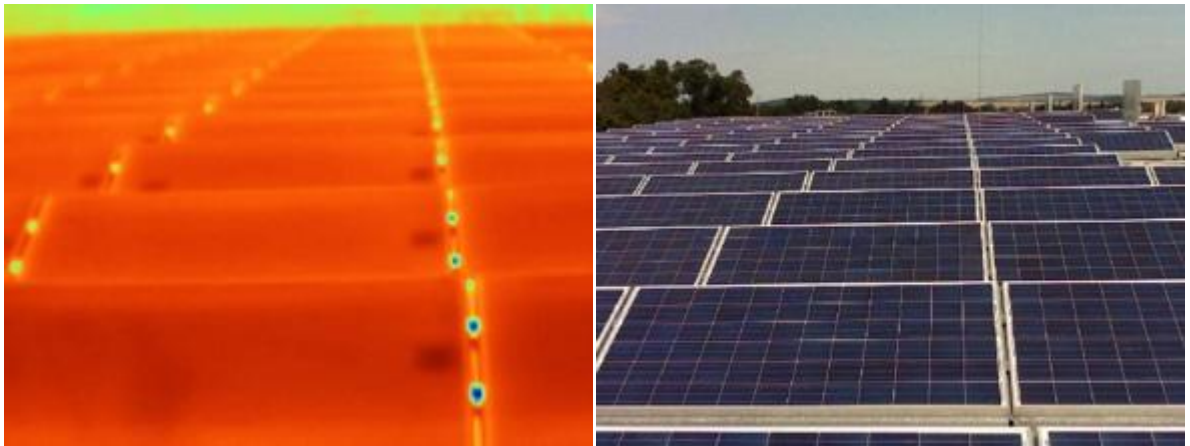
V průmyslu je kladen důraz na maximální bezporuchovost a spolehlivost strojů a zařízení, proto jsou stále častěji používány nové metody preventivní údržby ke zjišťování stavu výrobní technologie. Své místo si i zde našla termovize. Termovizní měření nám umožňuje získat viditelnou informaci o rozložení teplot na povrchu snímaného zařízení. Měření můžeme provádět za provozu bez nutnosti odstavení připojených technologií a bez jakéhokoliv vlivu na měřený objekt. Pomocí termovizní techniky lze provádět kontrolu stavu elektrických zařízení, stavu vyzdívek a izolací sklářských pecí a kontrolu úniku tepla u dopravníkových pájecích pecí.

### **2.6.4 ELEKTROTECHNIKA**

Při termovizním měření elektrických zařízení se snímá infračervené záření vyzářené oblasti nedokonalého spojení dvou vodičů, kterými protéká elektrický proud. Nejdůležitějším kritériem pro rozhodnutí, zda jde o špatný spoj, není pouze absolutní teplota spoje, ale hlavně teplotní rozdíl vůči ostatním spojům. Termovizním měřením, postupným sledováním a porovnáváním s dříve obdrženy hodnotami lze rozhodnout o kvalitě sledovaného spoje. Termovize je výkonný pomocník při kontrole a revizi elektrických rozvodů. [30]

### **2.6.5 FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY**

Každá minuta, kdy je fotovoltaická elektrárna (=sluneční elektrárna, dochází k přeměně energie ze slunečního záření na energii elektrickou) mimo provoz, je spojená s nemalou finanční ztrátou. Aby tyto ztráty byly co nejmenší, je důležité mít kompletní přehled o jejím stavu, pravidelně kontrolovat jednotlivá zařízení a pokud možno předcházet poruchám. Systémy sluneční energie dosahují svého maximálního výkonu při plném slunečním záření. Poškozené články mohou způsobit mimořádné zahřátí – jsou tedy rizikové z hlediska vzniku požáru. Kromě toho mohou poškozené články způsobovat podstatné ztráty výkonu celého systému (celých větví panelů). Za pomocí termovize je možné včas určit potenciální místa se zvýšenou teplotou a lokalizovat tak poškozené články. Takto se dá velmi efektivně předejít poklesu účinnosti zařízení a zajistit vysokou bezpečnost celé fotovoltaické elektrárny. [30]



Obrázek 13: *Fotovoltaická elektrárna bez závad* [36]



Obrázek 14: *Vadné články na fotovoltaickém panelu, teplota přesahuje vysoko nad 100 °C* [36]

### 2.6.6 EKOLOGIE

Termovize se v dnešní době používá i ke zlepšení stavu životního prostředí. Termovizní systém bývá zabudován do vrtulníku nebo letadla a používá se pro snímání a následné vyhodnocování tepelných obrazů ve vybraných lokalitách. Měřením získáme poznatky o mikroklimatu – informace o nahromadění a odevzdání tepelné energie různými objekty, ale i částmi terénu. Vhodnými úpravami lze následně regulovat tepelnou zátěž (např. vysázením porostu) a z obdržených hodnot naměřených na zemském povrchu je možné získat informace o stavu porostů apod. Dále lze s využitím této metody diagnostikovat, zda se ve vodních nádržích nevyskytují místa se zvýšenou teplotou v důsledku nedostatečného proudění vody, která jsou nebezpečná pro živočichy, rostliny apod. [25]

Mezi další využití termovize patří například elektronika (zjišťování míst přehřívání obvodů, testování kontaktů a komponentů), detekce pohybu osob nebo jiných organismů (bezpečnost), noční vidění (armádní využití) apod.

V teoretické části diplomové práce jsme se zabývali principem termokamery a jejího využití v běžném životě. Navazující experimentální část slouží k pochopení práce s termokamerou. Ukážeme si, jak můžeme vyučovací hodiny fyziky obohatit a propojit stručný teoretický výklad s praktickou ukázkou.

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Veškeré snímky uvedené v této diplomové práci byly provedeny termokamerou FLIR E30. Přístroj je kalibrován pro měření teplot od  $-20^{\circ}\text{C}$  až do  $+650^{\circ}\text{C}$ . Kamera se zaostřuje ručně, je určena pro měření jak ve vnitřním, tak i venkovním prostředí.

#### 3.1. POŠKOZENÍ VODOU A VLHKOSTÍ

Infračervenou kamerou je často možné detekovat poškození domů vodou a vlhkostí. Částečně je to proto, že poškozená oblast má jiné vlastnosti při vedení tepla a částečně také proto, že má rozdílnou tepelnou akumulační schopnost než okolní materiál.

Vlhkost je jednou ze základních vlastností vzduchu. Podává nám informaci o tom, jaké množství vody v plynném stavu (vodní páry) dané množství vzduchu obsahuje. Množství vodní páry je časově velmi proměnlivé.

##### 3.1.1 CHARAKTERISTIKY VLHKOSTI

###### Absolutní vlhkost vzduchu

Absolutní vlhkost vzduchu vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu. Absolutní vlhkost vzduchu  $\Phi$  lze vyjádřit jako podíl hmotnosti  $m$  vodní páry v daném objemu a tohoto objemu  $V$ :

$$\Phi = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Jednotkou absolutní vlhkosti vzduchu je  $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Vysoké hodnoty absolutní vlhkosti vzduchu lze očekávat v teplých tropických oblastech, naopak malou hodnotu absolutní vlhkosti vzduchu najdeme v chladných polárních oblastech a v místech položených ve větší nadmořské výšce. [14, 20]

###### Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu udává stupeň nasycení vzduchu vodou. Vyjadřujeme ji v procentech. Vzduch je schopen pojmout jen určité množství vodní páry. Pokud už vzduch obsahuje maximální možné množství páry, jeho relativní vlhkost je rovna 100%. Schopnost vzduchu pojímat vodu je závislá na teplotě. Čím teplejší je vzduch, tím více vody se do něj „vejde“. Máme-li vzduch se 100% vlhkostí a ochladíme jej, sníží se jeho schopnost vázat vodu a přebytečná voda se vyloučí ve formě malinkatých kapiček.

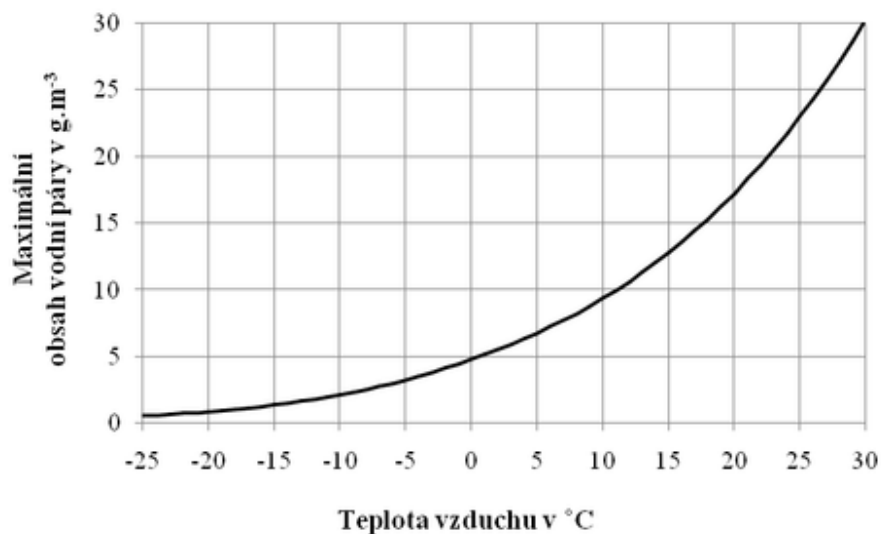
Relativní vlhkost vzduchu se udává jako poměr hmotnosti vodní páry, která je obsažena ve vzduchu ( $m$ ), a hmotnosti vodní páry, kterou by obsahoval stejný objem vzduchu, kdyby byl při stejné teplotě a tlaku vodními parami nasycen ( $M$ ):

$$\Phi = \frac{m}{M} \cdot 100\% \quad (6)$$

Pro člověka je neoptimálnější vlhkost vzduchu okolo 60%. Průměrná relativní vlhkost je nejvyšší v prosinci (87%) a v lednu a listopadu (86%). Nejnižší hodnoty relativní vlhkosti vzduchu jsou mezi dubnem až srpnem (73-76%). [14, 20]

### Rosný bod

Rosný bod představuje teplotu, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost je rovna 100%). Pokud teplota pod tento bod klesne, nastává kapalnění (kondenzace). Například: Při napouštění vany horkou vodou stoupá v koupelně teplota vzduchu a obsah vodních par v něm. Pokud vlhkost vzduchu dosáhne rosného bodu, začne voda kondenzovat. To se projeví například zarosením zrcadla. Zrcadlo má totiž nižší teplotu, než je hodnota teploty rosného bodu, a proto na něm vodní pára začne kondenzovat. Jakmile se po chvíli zrcadlo zahřeje na teplotu okolí, sražená vodní pára se ztratí (odpaří). Teď s trochou čísly: Jestliže máme v koupelně vzduch o teplotě 35°C a relativní vlhkosti 60%, je hodnota rosného bodu 26°C (viz tabulka). Takže na všech tělesech nacházejících se v koupelně majících teplotu nižší než je hodnota rosného bodu (méně než 26°C), začne vodní pára kondenzovat (začnou se na nich tvořit kapičky vody). Pokud tento stav přetrvává, je zde velké riziko vzniku plísně. Druhým příkladem, který určitě každý známe, jsou orosené brýle při vstupu z chladnějšího prostředí do vytopené místnosti. Příčinou orosených brýlí je opět styk teplého vzduchu se studenými brýlemi. [11, 20]



Obrázek 15: Graf závislosti obsahu vodní páry na teplotě vzduchu [33]

Hodnotu teploty rosného bodu získáme například prostřednictvím následující tabulky:

Teplota vzduchu v °C	Relativní vlhkost vzduchu v %						
	30	35	40	45	50	55	60
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4
35	14,8	17,2	19,4	21,3	23,0	24,9	26,0
40	19,1	21,6	23,8	25,8	27,6	29,2	30,7

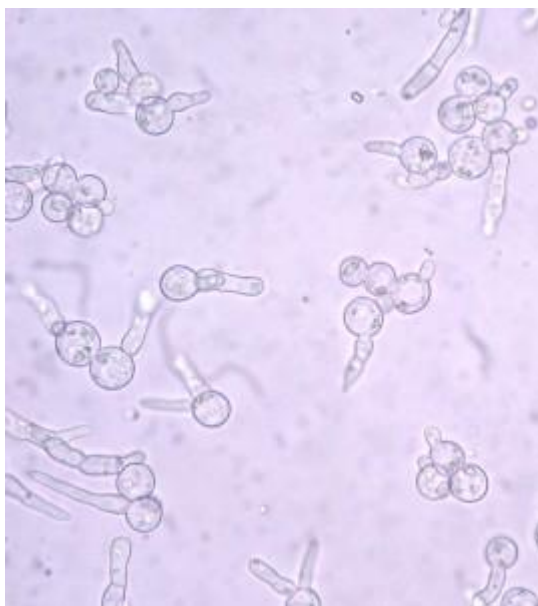
Teplota vzduchu v °C	Relativní vlhkost vzduchu v %						
	65	70	75	80	85	90	100
18	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	18
19	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	19
20	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	20
21	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	21
22	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	22
23	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	23
24	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	24
25	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	25
26	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	26
27	19,9	21,1	22,2	23,2	24,3	25,2	27
28	20,8	22,0	23,1	24,2	25,2	26,2	28
29	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	29
30	22,7	24,2	25,3	26,4	27,5	28,5	30
35	27,4	28,7	29,9	31,0	32,6	33,1	35
40	32,1	33,5	34,7	35,9	37,0	38,0	40

Například hodnota teploty rosného bodu pro 25°C a relativní vlhkost vzduchu 45% je 12,2°C. Hodnotu teploty rosného bodu můžeme také získat prostřednictvím online kalkulačky na internetu (například <http://www.termovize.com/vypocet-vlhkosti/>), stačí pouze znát teplotu vzduchu a relativní vlhkost vzduchu, stejně jako v případě výše uvedené tabulky. Tyto kalkulačky nám umožní získat hodnoty pro relativní vlhkost, která není uvedena v tabulce (například relativní vlhkost 33%,...).

### 3.1.2 PLÍSEŇ

S pojmem vlhkost úzce souvisí plíseň. Plísně jsou mikroskopické houby, které rostou tam, kde je dostatek vlhkosti. Rostou v širokém rozmezí teplot, dobře se jim daří při teplotě kolem 25°C, proto se plísním nejvíce daří v přírodě od jara do podzimu, v domácnostech s vlhkými zdi pak po celý rok. Na zdi jsou živinami pro plísně mikročástice organické hmoty z ovzduší. Plísně však dokážou růst i při relativně nízkých teplotách, dokonce i při teplotách pod 10°C (například plíseň na potravinách v lednici), tudíž se plíseň může vyskytnout i v bytech, kde se příliš netopí. [29]

Plísně se rozmnožují rozrůstáním mycelia (vlákna, která se proplétají) a sporami (rozmnožovací útvary plísni). Při dopadu spory na vlhké místo s živinami začne spora plísně klíčit, následně roste a vytváří reprodukční orgány. Z nich jsou do okolí uvolňovány zralé spory. Tyto spory jsou velmi malé a lehké, a proto jsou unášeny vzduchem na velké vzdálenosti. Vysoká koncentrace spor plísni ve vzduchu může u zdravého jedince způsobit nemalé zdravotní problémy (například vznik alergického onemocnění). Plíseň může člověku znepříjemnit život i jinými způsoby, při růstu produkují těkavé organické látky, některé z nich vnímá člověk jako plísňový zápach. Tyto látky mohou poškodit sliznici dýchacích cest, dráždí oči, způsobují bolesti hlavy a podráždění pokožky. [29]



Obrázek 16: *Klíčící spory plísni, pozorováno mikroskopem* [29]

Vznik plísni na stavebních konstrukcích je podmíněn přítomností vlhkosti. Rozlišujeme dva způsoby vlhnutí vnitřního povrchu stavebních konstrukcí. V prvním případě jde o zatékání z exteriéru v důsledku nefunkčnosti dělicích konstrukcí. Pro odstranění problému je na základě technického průzkumu nutné přistoupit k rozsáhlým stavebním úpravám. Druhým příkladem je vlhkost, která na vnitřním povrchu konstrukce za určitých podmínek kondenzuje ze vzdušné vlhkosti. [11, 29, 32]

V současnosti se plísně vyskytují nejčastěji v důsledku nevhodného používání bytu (nedostatečné vytápění nebo nedostatečné větrání) po instalaci nových těsných oken. Tato nová okna neumožňují výměnu vlhkého vzduchu z místnosti za méně vlhký vzduch venkovního prostředí škvírami a netěsnostmi kolem okenních rámců. Neodvětraná vodní pára z ovzduší kondenzuje a následně se vsakuje do zdí bytů. [11, 32]



Riziko výskytu plísně se zvyšuje například v malých bytech, které jsou obývány větším počtem osob, v bytech, ve kterých se hojně suší prádlo či se provádějí jiné činnosti spojené s odpařováním vody (pěstování květin, nadměrné vaření, chování rybiček v akváriích), v místech, kde je snížena tepelně – izolační schopnost části obvodové konstrukce – tzv. tepelný most. [29]

#### **Pár příkladů z běžné domácnosti:**

- dýchání, pocení jednoho člověka – uvolňuje až 300 g vody za hodinu
- sprchování – 600 g vody za hodinu
- vaření – 500 g vody za hodinu
- pokojové rostliny – 7 – 15 g za hodinu
- sušení mokrého prádla o hmotnosti 4,5 kg – 150 g za hodinu

Voda se může vsakovat i do porézních materiálů – například textilie. Na neporézních nebo málo porézních materiálech zabezpečují kondenzované mikrokapičky vody s menšími organickými nečistotami z ovzduší také vhodné podmínky pro růst plísní. [29]

#### **Ochrana před plísní**

Cílem a snem každé domácnosti je, aby se v bytě nevyskytovaly nárůsty plísní na površích. Ne ale v každé domácnosti může být toto přání vyslyšeno. Spousta nájemníků za plíseň ve svém bytě nemůže. Plíseň může být způsobena špatnou konstrukcí bytové jednotky, špatně provedenou termoizolací, vytopením bytu sousedy,... Důvodů je spousta. V takovém případě nám nezbyvá nic jiného než odstranit stavební závady. Existují však tipy, které nám pomohou plísním předcházet.

Co plísně opravdu nemají rády, je průvan, takže dobrou prevencí proti plísním je zajistit pravidelné větrání bytu (třeba i větrákem). Ale pozor! Větrání nemá smysl, když venku prší, výsledný efekt by mohl být zcela opačný! Další možnou ochranou proti plísním je správné umístění nábytku – ideální je zachovat mezeru mezi stěnou a nábytkem zhruba 5 cm, aby mohl vzduch kolem stěn plynule proudit. [29]

Viditelné nárůsty plísní je nutné odstranit, k tomu používáme různé dezinfekční přípravky. Při poškození většího rozsahu je vhodné povolat odbornou firmu. Dezinfekci bytu je nejlépe provádět při otevřeném okně, není – li to možné, tak ihned po provedení dezinfekce musíme místnost vyvětrat. Důležitý je také správný výběr dezinfekčních přípravků. Na trhu se vyskytují ve třech provedeních – některé mají pouze dezinfekční účinek (přípravky s obsahem chlóru – zabíjí stávající plísně, používání těchto přípravků není vhodné, neboť dochází k poškození zdi a následném vytváření chloridů, které na sebe váží vodu, a tak zabraňují odvětrání vlhkosti v teplém období letních měsíců), některé mají jak

dezinfekční, tak i preventivní účinek (přípravky s obsahem jiných chemických látek – po jejich užití plíseň na nějakou dobu na zcela nevysušené zdi neporooste) a poslední jsou přípravky, které mají pouze preventivní účinek (biologické přípravky – využívají mezidruhový parazitismus, nelze kombinovat s chemickými přípravky, plíseň nehubí, brzy po použití těchto přípravků se na zdi objeví znovu). V žádném případě před aplikaci některého z dezinfekčních přípravků plíseň neodstraňujeme, neseškrábáváme (škodlivé výtrusy plísní by se mohly roznést po celé místnosti)! [6, 29]



Obrázek 17: *Plíseň na vlhké stěně, pokročilé stádium*

Druhou, ale mnohem obtížnější a finančně dražší variantou je osekát omítku a nanést novou s přísadou biocidu. Pokud ani tato možnost nezabere, je nutné sáhnout ke stavebním úpravám. Obecně se doporučuje přidat zvenku budovy izolační vrstvu, případně obnovit izolaci proti zemní vlhkosti, která stoupá zdívnem vzhůru. [6, 22]

Další možnou ochranou proti plísni na stěnách místnosti je zvednutí jejich teploty. Toho můžeme dosáhnout buď zateplením vnějšího obvodového pláště budovy, nebo využitím termoizolačních nátěrů interiéru, popřípadě exteriéru (fasády) budovy. Termoizolační nátěry jsou schopny svými vlastnostmi zvýšit teplotu stěny o 3 – 4°C, což je v řadě případů dostačující k prevenci vzniku plísní. Aplikace termoizolačních nátěrů má především smysl pro místnosti s nízkou teplotou stěn (místa kolem oken, rohová místa u stropů,...). [11, 22]

Nejnákladnějším způsobem zvýšení teploty stěn v interiéru je zateplení vnějšího obvodového pláště budovy. Kromě dosažení vyšší teploty uvnitř budovy zabráníme také

promrzání stěn, a tudíž eliminací vzniku plísní získáme i energetickou úsporu při vytápění. I v takovéto budově však musíme myslet na pravidelné větrání. [22]

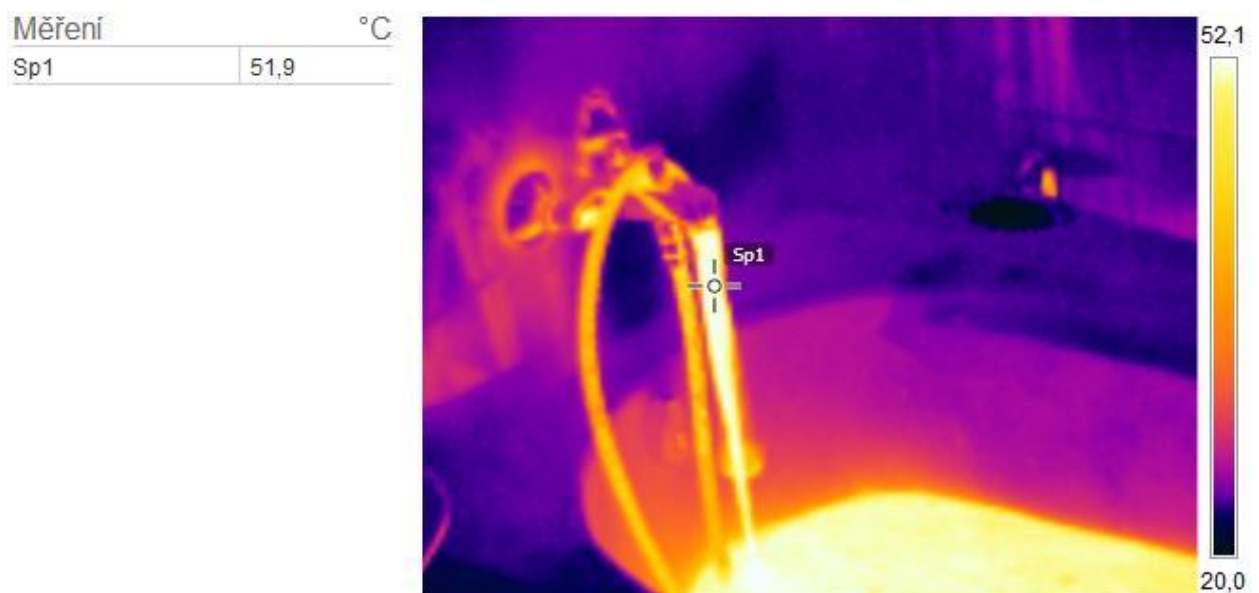
### Termogramy vlhkosti

V této podkapitole se podíváme na termografické snímky vybraných místností bytu. Budeme zkoumat místa, kde je možný výskyt plísně, popřípadě místa, kde už se plíseň vyskytuje.

### Koupelna

Termovizní měření a snímkování probíhalo při pokojové teplotě 19°C, vlhkost interiéru byla 33%. Emisivita byla nastavena na hodnotu 0,95.

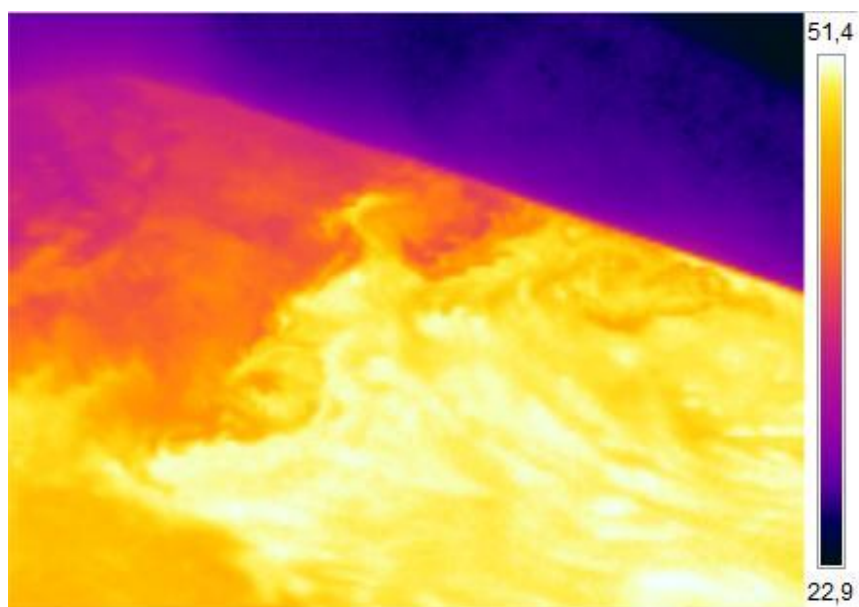
Během následujícího měření bylo zkoumáno, jak se během půlhodinové koupele mění teplota a vlhkost vzduchu v koupelně. Počáteční údaje byly: vlhkost 33% a teplota 19°C. Poté byla vana napouštěna střídavě teplou (okolo 50°C) a studenou (okolo 10°C) vodou, jak ukazují následující obrázky.



Obrázek 18: *Napouštění vany teplou vodou o teplotě 51,9°C (bod Sp1)*



Obrázek 19: *Napouštění vany studenou vodou o teplotě 11,9°C (bod Sp2)*



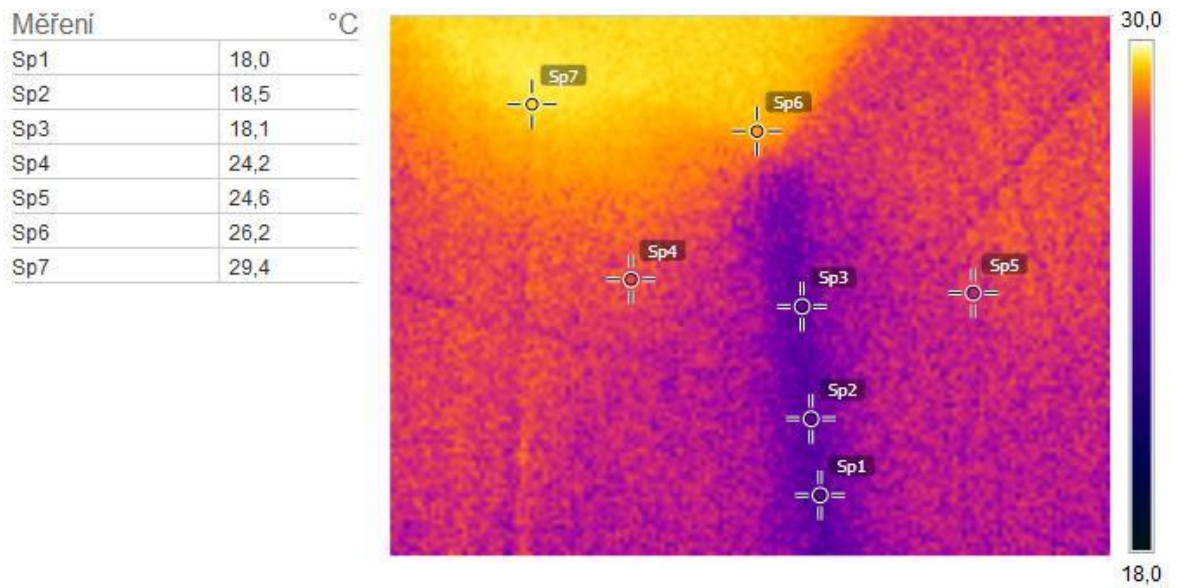
Obrázek 20: *Míšení teplé a studené vody ve vaně*

Následující tabulka ukazuje, jak se s časem mění vlhkost a teplota vzduchu v koupelně.

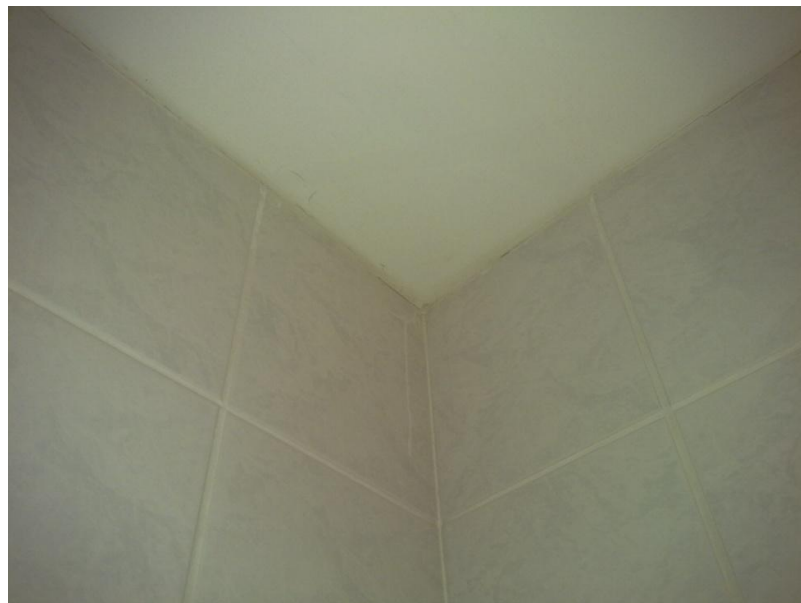
Čas v min	Vlhkost v %	Teplota ve °C
1	33	19,0
2	34	19,2
3	36	19,6
4	39	20,0
5	43	20,7
6	47	21,3
7	50	21,9
8	53	22,4
9	58	22,8
10	62	23,1
13	65	23,7
15	68	24,1
17	70	24,7
20	75	25,3
23	80	25,7
26	83	26,1
30	85	26,5

V koupelně je riziko vzniku plísní mnohem větší než v ostatních částech bytu vzhledem k tomu, že je zde zvýšená vlhkost, a právě s rostoucí vlhkostí se zvyšuje teplota rosného bodu. Následkem toho roste pravděpodobnost kondenzace v rozích.

Obr. 21 byl pořízen po 30 minutách napouštění vany, kdy se vlhkost zastavila na hodnotě 85% a teplota dosahovala 26,5°C. Tyto hodnoty odpovídají hodnotě rosného bodu o teplotě 23,8°C.



Obrázek 21: *Termogram rohu koupelny*



Obrázek 22: *Roh koupelny*

Na obr. 21 můžeme vidět jednotlivé teploty v bodech Sp1 – Sp7. Teplota v bodech Sp1 – Sp3 se pohybuje kolem 18°C, je zde velké riziko výskytu plísně, proto musíme dbát na kvalitní výměnu vzduchu – tedy větrání a snížení teploty a vlhkosti. Při nerespektování větrání je zde jisté, že by plíseň dělala problémy. Tento roh by se orosil a následovala by tvorba plísně.

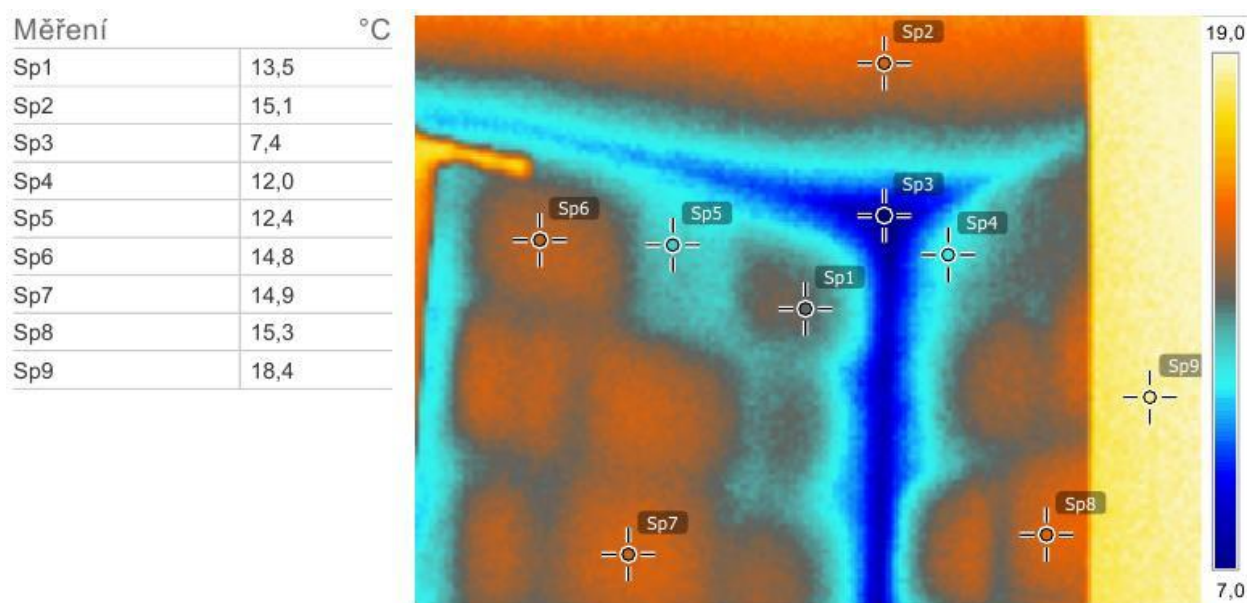


Dalším spolehlivým řešením, jak snížit vlhkost vzduchu v koupelně, je vlastnit funkční odvětrávací systém, který se nachází v každé i starší panelákové koupelně v rohu nad vanou. Tento ventilátor (nebo mřížka centrálního větracího zařízení) musí být funkční. Jak to ale zjistíme? Jednoduše – stačí si u něj zapálit cigaretu a uvidíme, zda kouř odchází ven do odvětrávací šachty, nebo se line po celé koupelně.

Pro správnou funkci ventilátoru je třeba jej pravidelně čistit (zhruba 4x za rok). Čištěním jej zbavíme prachu a dalších nečistot. Pokud ani po důkladném vyčištění ventilátor nefunguje, je třeba jej vyměnit za nový.

### Ložnice

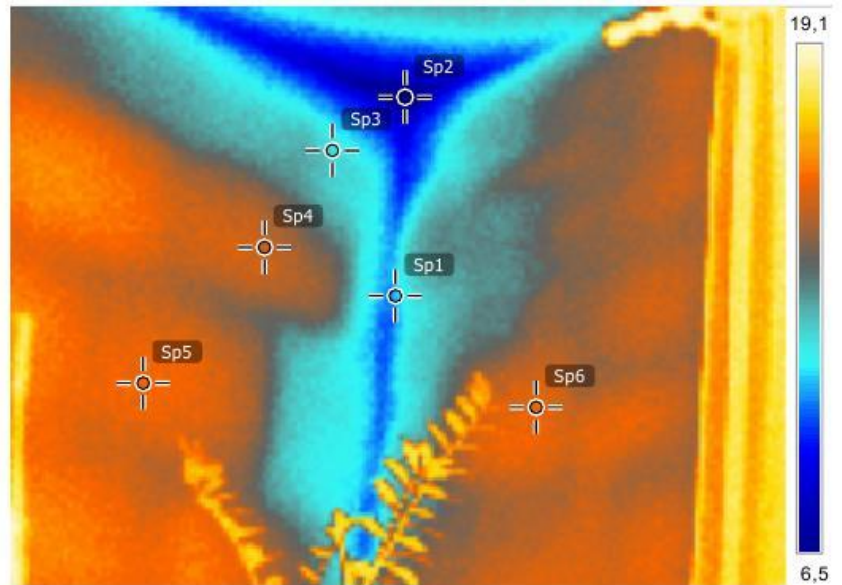
Na obr. 23 vidíme roh místnosti (ložnice). Snímek byl pořízen při pokojové teplotě 16°C a relativní vlhkosti vzduchu 55%, teplota rosného bodu odpovídá 7°C. Bod Sp3 má teplotu 7,4°C, což je hodnota velice blízká teplotě rosného bodu, proto je třeba dbát vysoké opatrnosti, aby se zde nevytvořila plíseň.



Obrázek 23: Ložnice

## Pracovna

Měření	°C
Sp1	10,8
Sp2	6,5
Sp3	11,9
Sp4	15,2
Sp5	15,7
Sp6	15,7



Obrázek 24: *Pracovna*

Opět ten samý problém, avšak s horšími důsledky. Na obr. 24 vidíme termogram pracovny. Pokojová teplota při měření byla 22°C, relativní vlhkost vzduchu 55%. Teplota rosného bodu odpovídá 12,5°C. Teplota v bodech Sp1, Sp2 a Sp3 je nižší než teplota rosného bodu, proto zde plíseň bude činit značné problémy.

## 3.2. TEPELNÉ IZOLACE

### 3.2.1 OKNA

Okno musí do domu propouštět světlo, musí zajistit vizuální kontakt s okolím, bránit úniku tepla a současně umožnit větrání. Zatím neexistuje žádný způsob jak všechny tyto požadavky splnit, proto jsou tak okna vždy určitým kompromisem. Teplo okny uniká netěsnostmi mezi křídlem a rámem a prostupem tepla skrz skla oken (sklo neizoluje, izoluje pouze vrstva vzduchu mezi nimi). Pro dosažení lepších výsledků existují dvě hlavní možnosti zateplení: výměna celého okna za okno nové – nová, moderní okna mají kvalitní a těsné rámy a jsou zasklena speciálními izolačními dvojskly (trojskly), nebo staré okno zatěsnit a vyměnit vnější sklo za izolační dvojsklo, v tom případě nemusíme nic bourat. [8, 10, 11, 24]

Okny uniká z domu nejvíce tepla, udává se až 30% veškerých ztrát. Jak už jsme říkali, sklo neizoluje, takže určitě nemůže dosahovat izolačních vlastností jako 20 cm polystyrenu.



Při výběru nejde ani tak o výběr oken dřevěných nebo plastových, hliníkových či kombinovaných z několika druhů materiálů. Všechny tyto typy dosahují v dnešní době víceméně stejných parametrů, ovšem klíčové jsou detaily. Dříve používaná okna s jedním sklem jsou již našťestí minulostí a v podobě dvojitých oken se vyskytují pouze u rekonstrukcí historických staveb. Majoritu produkce nyní představují okna s izolačním dvojsklem. Ani ta nárokům moderních domů zcela nevyhovují, a tak nastupují trojskla a další šetrná opatření. [7, 10, 11, 24]

Na výsledné tepelné izolaci se nepodílí pouze typ zasklení, okno musíme chápat jako celek. Skla jsou oddělena distančním rámečkem, prostor mezi nimi je vyplněn izolačním plynem (nejčastěji argon, u dražších oken krypton). Obrovský podíl na úniku tepla má také rám okna, těsnění a celkové zasazení okna do otvoru ve zdi. [7, 10, 11, 24]



Obrázek 25: *Dvojité okno*



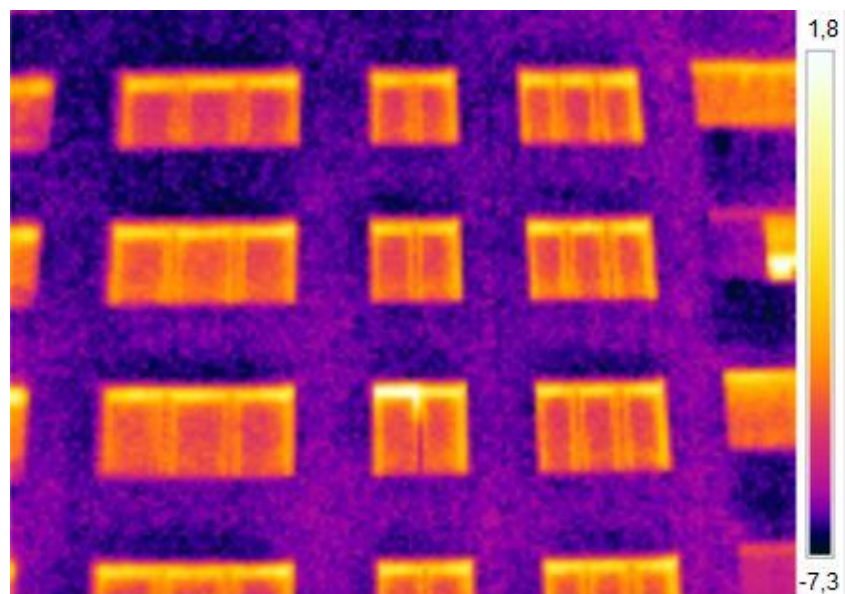
Obrázek 26: Okno s izolačním dvojsklem (vlevo), okno s izolačním trojsklem (vpravo) [13]

Moderní okna jsou vzduchotěsná, je proto důležitá mikroventilace (štěrbinové větrání, zvláštní poloha ovládací kliky, při kterém se spára mezi křídlem a rámem o několik milimetrů povolí a umožní přístup vzduchu). Avšak mikroventilace plně nenahradí pořádné vyvětrání, umožní přísun čerstvého vzduchu a zejména únik vodních par směrem ven. [7, 10, 11, 24]

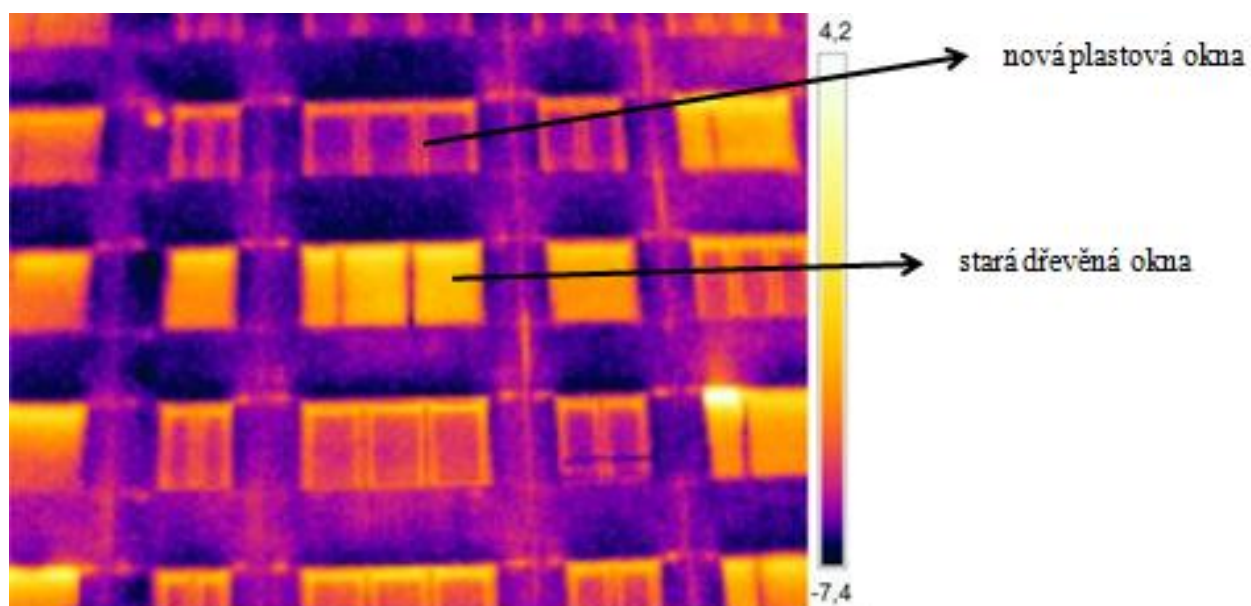
### **Termogramy oken**

V následujícím textu se budeme věnovat srovnávání starých, dřevěných a nových, plastových oken, dále potom tepelnými ztrátami oken a různými možnostmi eliminování těchto ztrát.

Následující termogramy byly pořízeny v prosinci v ranních hodinách, teplota vzduchu byla  $-6^{\circ}\text{C}$ , emisivita byla nastavena na hodnotu 0,90. Na obr. 27 vidíme panelový dům s plastovými okny, na obr. 28 panelový dům jak s okny plastovými, tak i staršími dřevěnými, na obr. 29 klasický snímek pozorovaného panelového domu a na obr. 30 srovnání staršího dřevěného a nového plastového okna, jejich rozdílné tepelné ztráty.



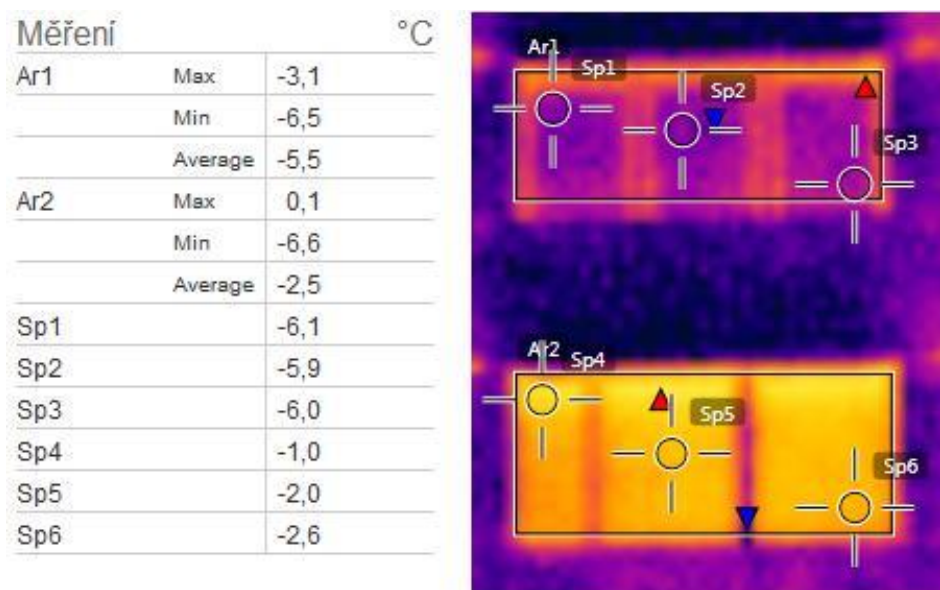
Obrázek 27: *Panelový dům s novými okny s izolačním dvojsklem po zateplení*



Obrázek 28: *Termogram panelového domu se starými dřevěnými okny i okny novými s izolačním dvojsklem před zateplením*



Obrázek 29: *Panelový dům*



Obrázek 30: *Srovnání starého dřevěného a nového plastového okna*

Tabulka nalevo od obr. 30 znázorňuje výsledky měření. Ar1 – obdélník týkající sehorního plastového okna, modrá šipka udává minimální (-6,5°C) a červená šipka ukazuje maximální (-3,1°C) teplotu. Průměrná teplota v rámečku Ar1 je -5,5°C. Body Sp1 – Sp3 ukazují teploty v jednotlivých bodech okna. Ar2 – obdélník týkající se dolního dřevěného okna, barevné šipky opět ukazují hodnoty minimální, resp. maximální teploty. Průměrná teplota v rámečku Ar2 je zde -2,5°C, což je v porovnání s plastovým oknem o 3°C vyšší.

Únik tepla je zde evidentní. Pocítíme ho nejenom menší teplotou v místnosti, ale také značně velkou finanční ztrátou.

Největší podíl spotřeby energie v domácnostech souvisí s vytápěním (rodinný dům 83%, panelákový byt 64%). Z tohoto důvodu v této oblasti vzniká největší možná úspora nákladů na energii, proto bychom výměně starých oken za okna nová měli věnovat pozornost. Investice do nových oken se nám brzo vrátí v podobě úspor za energii, navíc esteticky pozvednou vzhled našeho obydlí.

Jednou z dalších možností, jak snížit náklady na vytápění, je opatřit okna reflexní fólií. Tyto fólie se hodí především pro okna orientovaná na sluneční stranu (jih a západ). Víme, že tepelná energie se šíří třemi možnými způsoby – vedením, sáláním a zářením. Tyto speciální fólie jsou schopny odrazit právě složku záření. Fólie jsou nainstalované buď hned při výrobě do prostoru mezi skly, nebo je lze dostatečně nalepit na vnější povrch. Jejich princip je takový, že odrážejí část infračerveného spektra záření, které je nositelem tepelné energie. Následně filtrují nebezpečné ultrafialové záření, zatímco viditelné světelné spektrum propustí, sklo je tak zcela průhledné. Výhodou těchto fólií je, že nejenom napomáhají udržet teplo uvnitř, ale v letních měsících zabraňují přehřívání místnosti, neboť odrážejí žhavé sluneční paprsky. Je třeba ale podotknout, že ačkoliv toto řešení přispívá k tepelné pohodě, není všelékem, majoritní podíl energie se oknem šíří právě vedením neboli prostupem v použitých materiálech. [24]

### **3.2.2 OBVODOVÉ STĚNY**

U většiny domů uniká nejvíc tepla právě obvodovými stěnami. Obvodové stěny mají relativně velkou plochu. Starší domy mají stěny zpravidla z plných cihel o tloušťce 45 cm. Tepelné ztráty takové stěny jsou zhruba pětkrát větší než u stěny z dnes používaných cihel. Pokud chceme snížit tepelné ztráty, musíme stěny izolovat. [9, 10, 11, 24]

Mezi nejčastější materiály k izolaci stěn používáme desky z pěnového polystyrenu. Nevýhodou je jeho hořlavost a fakt, že se nepřizpůsobí nerovnostem povrchu. Dalším materiálem jsou desky z minerální vaty. Tyto desky jsou lisovány z minerálních vláken pojených organickou pryskyřicí. Tepelné vlastnosti jsou zhruba stejné jako u pěnového polystyrenu, ale minerální vlákna jsou nehořlavá a díky otevřené vláknité struktuře jsou desky velmi dobře propustné pro vodní páru. [8, 9, 10, 11, 24]



Obrázek 31: *Desky z pěnového polystyrenu [17]*

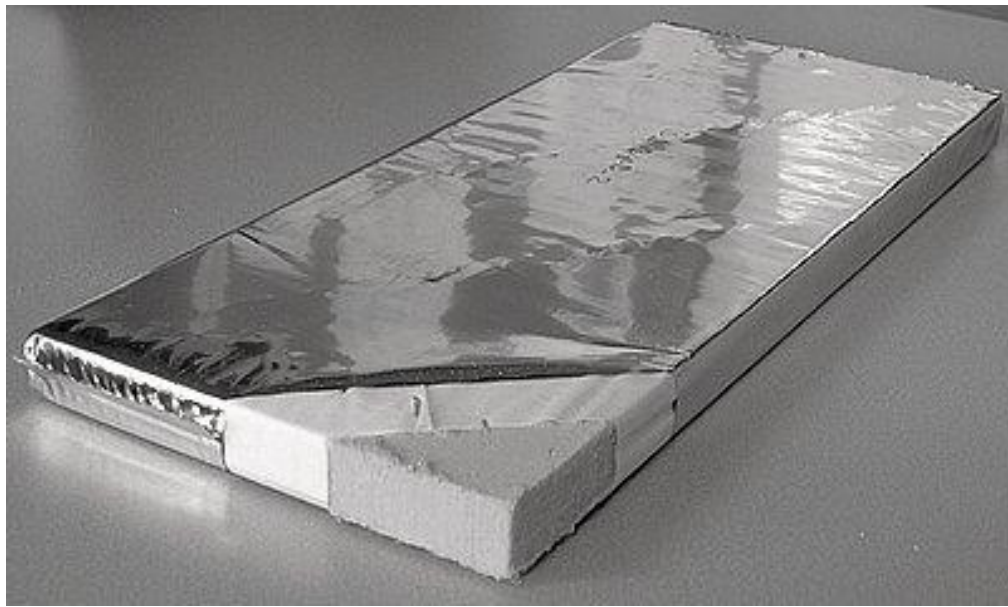


Obrázek 32: *Desky z minerální vaty [23]*

Mezi izolaci, která ještě není tak známá, patří vakuové izolační panely. Tato izolace je účinná už v milimetrových tloušťkách. Princip této izolace je zdánlivě jednoduchý, vezmeme běžnou izolaci, zabalíme ji do vzduchotěsné obálky a odčerpáme z ní vzduch, který zaujímá většinu objemu izolace. Jde to ale jen tehdy, jestliže tuhá složka pěny či minerální nebo rostlinné vlákno v izolaci vydrží obrovský přetlak vnější atmosféry a zachovají původní rozměry izolace. Panel vakuové izolace lze zjednodušeně připodobnit



k sáčku mleté vakuové kávy. Vakuové izolační panely obsahují jako výplň tuhousíťovou strukturu složenou ze shluků částic oxidu křemičitého nanometrických rozměrů. Další důležitou součástí vakuových izolačních panelů je vzduchotěsný a mechanicky tuhý obal, který umožní trvalé odčerpání vzduchu a bezporuchovou manipulaci s panely při výstavbě. Panely se vyrábějí v rozměrech standardních izolačních desek, avšak jejich tloušťka je malá, od 2 do 8 cm. [8, 9, 10, 11, 34]



Obrázek 33: *Vakuový izolační panel* [34]

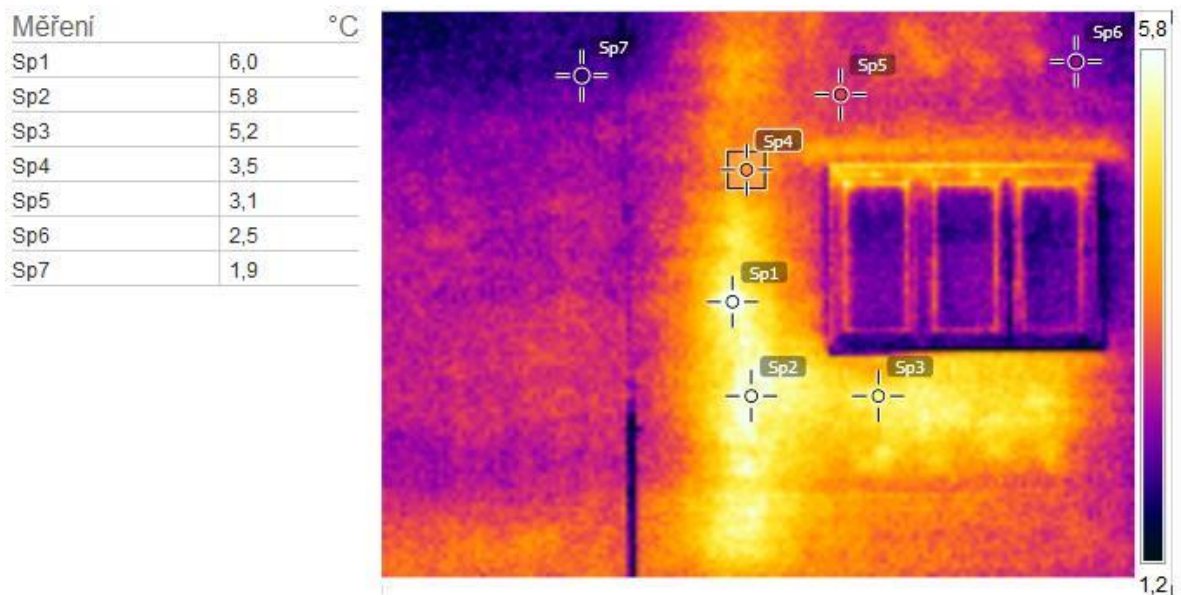
Stěny budovy lze izolovat zevnitř nebo zvenku. Vnitřní izolace má četné nevýhody a u starších domů jsou prakticky nepoužitelné. Největším problémem je to, že vnitřní izolace končí u rámu oken, u stropů, u podlah a v těchto místech dochází ke kondenzaci vodní páry. Mohou se zde tak objevit plísně. Vnější zateplení je výhodnější, celá konstrukce budovy je zabalena do izolačního pláště, a pokud je izolační vrstva dostatečně a dobře provedená, nikde ke kondenzaci vodní páry nedochází. [8, 24]

Nejčastěji se setkáváme s kontaktní izolací – desky izolačního materiálu se nalepí na fasádu a následně se opatří tenkovrstvou omítkou. Obvyklá tloušťka izolace se pohybuje v rozmezí 10 až 16 cm. Tuto izolaci můžeme použít jen na stěny, které jsou dokonale suché. Pokud do stěn vzlíná vlhkost, pak je nutné provést hydroizolaci (opatření, které zabraňuje vnikání vody ve všech skupenstvích do stavební konstrukce a do vnitřních prostorů stavebního objektu). [8, 24]

## Termogramy obvodových stěn

I v této podkapitole se budeme zabývat srovnáváním, tentokrát budeme srovnávat zateplený a nezateplený panelový dům.

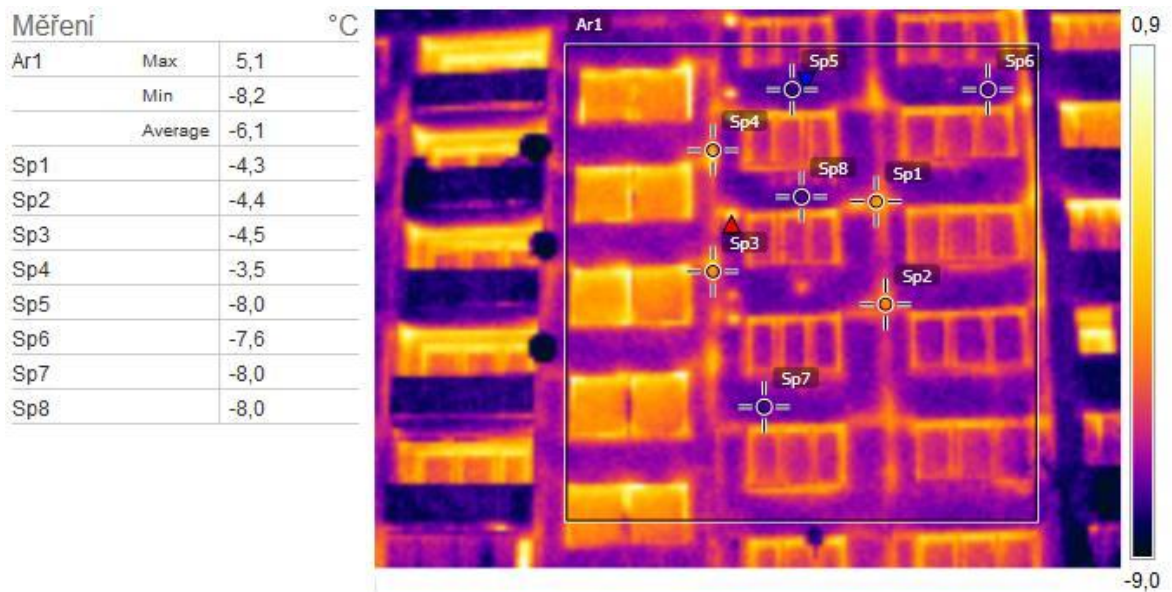
Následující snímky byly pořízeny v lednu. Při měření obr. 34 byla venkovní teplota 1°C, při měření obr. 35 – 37 byla venkovní teplota -9°C. Ve všech případech byla emisivita nastavena na hodnotu 0,90.



Obrázek 34: Cihlový dům se starými dřevěnými okny, chybějící zateplení

Na obr. 34 vidíme cihlový dům se staršími dřevěnými okny. Vyšší únik tepla je způsoben absencí zateplení domu. Žlutá až téměř bílá barva nalevo a pod oknem je způsobena radiátorem, který je umístěn pod oknem.

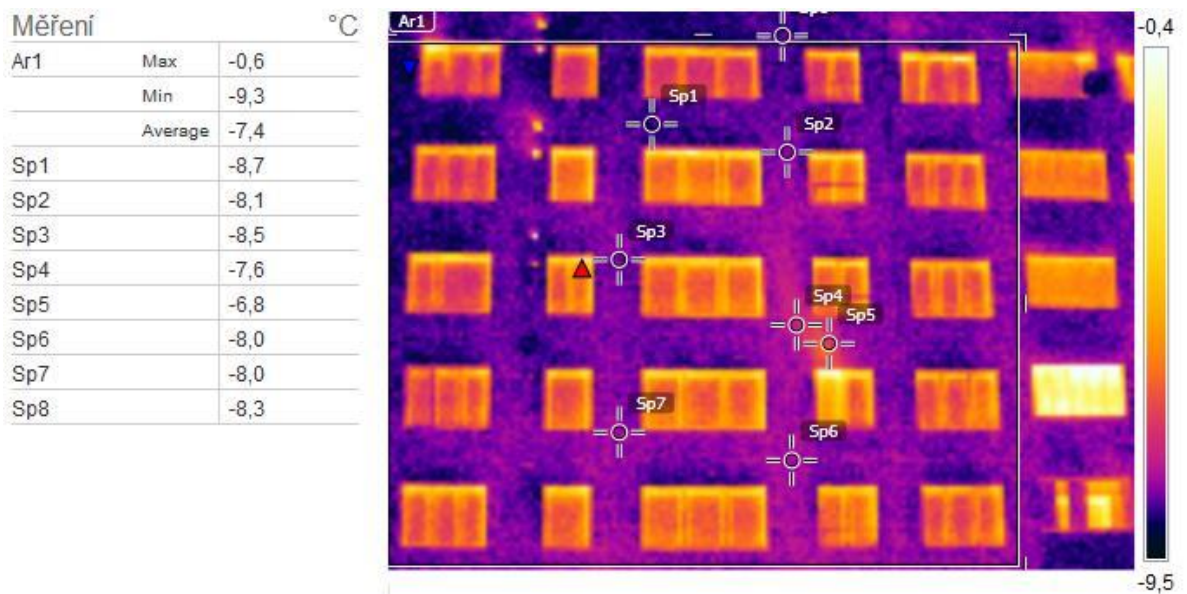




Obrázek 35: *Nezateplený panelový dům*

Nezateplený obvodový plášť panelového domu se projevuje vyššími povrchovými teplotami, které svědčí o malém tepelném odporu obvodového pláště. Na obr. 35 jsou zřetelné svislé světlé plochy v místě spár mezi panely, což svědčí o nízké kvalitě prováděné izolace spár při výstavbě domu (body Sp1, Sp2, Sp3, Sp4). Jsou zde také viditelné zvýšené úniky tepla v místě uložení stropních konstrukcí. Rozdíl mezi maximální a minimální teplotou povrchu panelového domu je 13,3°C, průměrná teplota povrchu je -6,1°C.

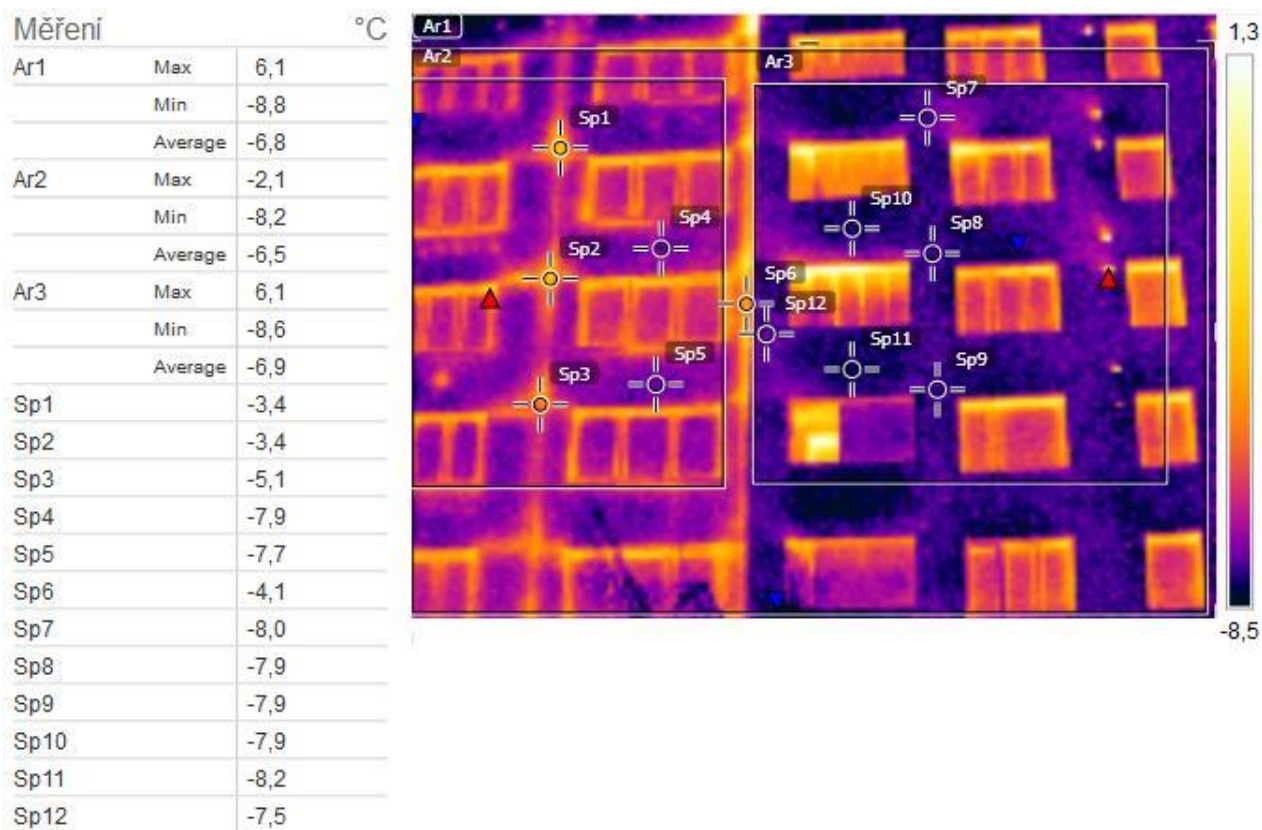
Obr. 36 nám ukazují stejný typ panelového domu, akorát s již provedenou revitalizací domu. K zateplení domu byl použit polystyren, okna si nájemníci měnili sami, tudíž někteří mají okna nová – plastová, někteří si nechali okna stará – dřevěná.



Obrázek 36: Zateplený panelový dům

Rozdíl mezi maximální a minimální teplotou povrchu panelového domu je  $8,7^{\circ}\text{C}$ , průměrná teplota povrchu je  $-7,4^{\circ}\text{C}$ . Výrazné světlé skvrny u oken znamenají otevřená ventilační křídla (například otevřené ventilační křídlo pod bodem Sp5).

Z předchozích čísel je patrné, že vnější tepelná izolace vykazuje nižší povrchové teploty než izolace žádná, což je důkazem podstatně menších tepelných ztrát prostupem obvodovým pláštěm po zateplení.



Obrázek 37: Srovnání nezatepleného (vlevo) a zatepleného (vpravo) panelového domu

Na obr. 37 je zřetelný rozdíl teplot na části zateplené a nezateplené dokládající důležitost úprav vedoucích ke zvýšení tepelně – izolačních vlastností obvodového pláště budovy. Průměrná teplota povrchu u nezatepleného panelového domu je  $-6,5^{\circ}\text{C}$  a u zatepleného panelového domu je  $-6,9^{\circ}\text{C}$ .

Snímky pořízené termokamerou jednoznačně ukazují na oprávněnost opatření ke zvýšení tepelně – izolačních vlastností obvodových plášťů budov dodatečným zateplením. Výsledkem je zvýšení tepelného odporu tohoto pláště a zlepšení vnitřního mikroklimatu obytných místností a významné úspory energie na vytápění.

Že jde o úspory nemalé, si ukážeme na následujícím příkladě: Vlastníme rodinný dům, který je samostatně stojící, má standardně dvě nadzemní podlaží a plochou střechu (jedná se o „kostku“). Obvodové stěny jsou ze škvárobetonových tvárnic, okna jsou nová, plastová. Podíl prosklené výplně v ploše fasády je zhruba 20%. Na tomto domě jsme zkoumali, jakou roli hraje tloušťka polystyrénové tepelné izolace. Při tloušťce polystyrenu 5 cm bude úspora tepla potřebného na vytápění 33%, při tloušťce 12 cm bude úspora činit 40%. Při zvyšující se tloušťce polystyrenu už úspora tepla na vytápění nebude tak rychle růst, tedy při zateplení

domu nad 12 cm se již úspora markantně nezvětšuje. Skutečně, při použití polystyrenu o tloušťce 16 cm bude úspora 42,6%, tloušťka 25 cm způsobí úsporu 44,7%.

Na dalším příkladě si ukážeme, jak se zateplení panelákového domu projeví v naší peněženke. Budeme zateplovat panelový dům, který má 13 podlaží a 63 bytů. Tento dům se nachází v Moravskoslezském kraji ve Frýdku – Místku. Jedná se o panelový dům, který je ze dvou stran obklopen domem téhož typu (viz obr. 38). K zateplení použijeme polystyren o tloušťce 16 cm. Během rekonstrukce proběhla výměna oken, také se uskutečnila generální oprava střechy a lodžii. Rekonstrukce odstartovala 1. dubna 2009 a skončila v říjnu téhož roku.



Obrázek 38: *Vzorový panelový dům (uprostřed), po zateplení*

Následující tabulky ukazují spotřebu tepla v jednotlivých topných sezónách, dále pak úsporu tepla v procentech i korunách. Cena tepla se každým rokem mění, jak je ukázáno ve druhém sloupci tabulky.

Topná sezóna	Cena za 1 GJ	Spotřeba v GJ	Spotřeba v %	Úspora v %	Spotřeba v Kč	Úspora v Kč
2007 – 2008	441	1383	100	0	609903	0
2008 – 2009	508	1295	93,63	6,37	657860	-47957
2009 – 2010	554	901	65,14	34,86	499154	110749
2010 – 2011	545	778	56,25	43,75	424010	185893
2011 – 2012	583	642	46,42	53,58	374286	235617

Tabulka 1: *Spotřeba tepla pro celý panelový dům*

Z tabulky 1 vidíme, že cena za 1 GJ tepla každým rokem stoupá s výjimkou let 2010 – 2011, kdy cena klesla. Díky velkému nárůstu ceny tepla v sezóně 2008 – 2009 je „úspora“ v korunách záporná i přesto, že v procentech tato úspora vykazuje kladné hodnoty. Rovněž je patrné, že zateplení domu přináší nemalé finanční úspory.

Topná sezóna	Cena za 1 GJ	1 byt v GJ	Spotřeba v Kč	Úspora v Kč
2007 – 2008	441	21,95	9679,95	0
2008 – 2009	508	20,55	10439,40	-759,45
2009 – 2010	554	14,30	7922,20	1757,75
2010 – 2011	545	12,34	6725,30	2954,65
2011 – 2012	583	10,19	5940,77	3739,18

*Tabulka 2: Spotřeba tepla pro bytovou jednotku*

Tabulka 2 představuje spotřebu tepla téhož panelového domu pro jednu bytovou jednotku. Názorněji zde můžeme vidět, kolik za jednotlivé roky díky celkové revitalizaci domu ušetříme.

Od roku 2009, kdy byl panelový dům zateplen, je celková úspora každé bytové jednotky až do dnešní doby rovna 8451,58 Kč.

Kdyby se cena za teplo neměnila a zůstala by na stejné hodnotě jako roku 2007 (441 Kč), tak bychom od zateplení až do dnešní doby ušetřili 12797,82 Kč na každé bytové jednotce.

### **3.2.3 STROPY**

Strop zaujímá hlavně u přízemních domů poměrně velkou plochu a staré trámové stropy mají velmi špatnou tepelnou izolaci. Trámové stropy se dají dobře zateplit vložením minerální vaty mezi trámy. [11, 24]

### **3.3. TEPELNÝ MOST**

Tepelné mosty jsou taková místa konstrukce, kterými je umožněn zvýšený únik tepelné energie z interiéru do okolního prostředí, projevuje se chladnějším povrchem. Tepelné mosty vznikají v důsledku nesprávného provedení konstrukce nebo v důsledku použití nevhodného materiálu. Tím dochází jednak k tepelným ztrátám, ale taky často k poklesu vnitřní povrchové teploty pod teplotu rosného bodu a následné kondenzaci vodních par a vzniku plísní. Množství tepelné energie, která unikne tepelným mostem, je tím větší, čím je větší rozdíl teplot na vnitřní a vnější straně konstrukce. Je to důsledek toho, že v místě tepelného mostu má konstrukce vyšší tepelnou vodivost než na jiných místech. [11, 12, 32]

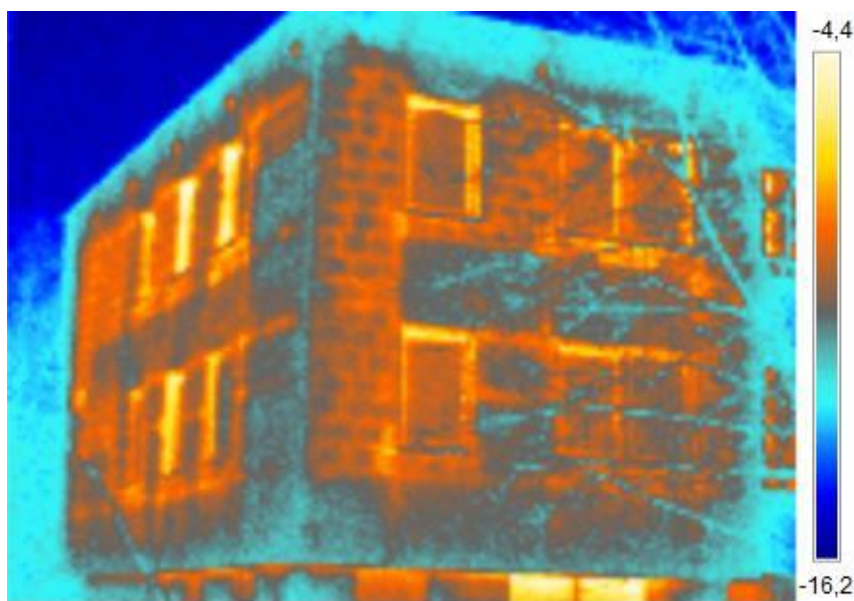


Tepelné mosty vznikají nejčastěji v nadokenních a naddveřových překladech, u okraje střechy, v místě napojení stropních nosných prvků s obvodovou stěnou. [32]

Odstraňování tepelných mostů a jejich následků nebývá snadné ani levné, proto se vyplatí předcházet jejich vzniku například kvalitním provedením stavebních konstrukcí. [32]

Rozlišujeme dva druhy tepelných mostů. Jsou to tepelné mosty způsobené netěsnostmi v plášti dělicí konstrukce, kdy je tepelný únik způsoben přímo odvětráváním vnitřního vzduchu do exteriéru (jedná se o tepelnou ztrátu prouděním). V druhém případě jde o tepelné mosty vzniklé nesprávně navrženou skladbou dělicí konstrukce (jde o únik tepelné energie vedením). K rizikovým detailům patří ukončení zateplovacího systému u základových konstrukcí. [11, 12, 32]

Tepelná energie se konstrukcí šíří vždy cestou nejmenšího odporu a množství energie, které prostoupí konstrukcí, je úměrné teplotnímu spádu. Podle směru prostupu tepla konstrukcí rozlišujeme vedení na jednorozměrné (prostup tepla v ploše – například obvodovou zdí), dále vedení dvojrozměrné (v místě styku dvou dělicích konstrukcí) a vedení třírozměrné (ve styku tří dělicích konstrukcí – v rozích). [11, 12, 32]



Obrázek 39: *Tepelné mosty ve zdivu*

### 3.4. VEDENÍ TEPLA

V kapitole Tepelné izolace jsme mluvili o šíření tepelné energie. Přenos energie z míst s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou se může uskutečnit tepelnou výměnou, a to výměnou vedením, zářením nebo prouděním.

### 3.4.1 TEPELNÁ VÝMĚNA ZÁŘENÍM

Tepelná výměna zářením mezi dvěma tělesy se uskutečňuje vyzařováním nebo pohlcováním elektromagnetického záření, jehož vysílání je podmíněno neuspořádaným tepelným pohybem molekul tělesa. Při vysílání tepelného záření se vnitřní energie tělesa zmenší o energii tohoto vyslaného záření. Při dopadu záření na těleso se část tohoto záření odrazí, část tělesem projde a zbytek je tělesem pohlcen. Vnitřní energie tělesa, na které dopadá záření, se tedy zvětší o energii pohlceného záření. [1]

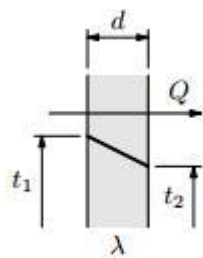
### 3.4.2 TEPELNÁ VÝMĚNA PROUDĚNÍM

Při tepelné výměně prouděním dochází k pohybu kapaliny nebo plynu; teplejší části kapaliny nebo plynu stoupají vzhůru a chladnější klesají dolů. Tohoto jevu se uplatňuje například při vytápění bytů. Ohřátý vzduch stoupá od zdroje tepla vzhůru, u stropu proudí směrem k vzdálenější stěně bytu, následně klesá dolů; další teplý vzduch ho žene dále (ke zdroji tepla) a celý koloběh se opakuje. [1]

### 3.4.3 TEPELNÁ VÝMĚNA VEDENÍM

Tepelná výměna vedením probíhá mezi dvěma nebo více se dotýkajícími tělesy, které mají různou teplotu. Při dotyku dvou těles o různých teplotách odevzdají částice teplejšího tělesa část své pohybové energie částicím studenějšího tělesa. Výměna trvá tak dlouho, než se teplota obou těles nevyrovná. Různé látky mají různou tepelnou vodivost. K látkám s největší tepelnou vodivostí patří kovy, naopak nejmenší tepelnou vodivost mají plyny. Proto také pórovité a sypké látky, uvnitř kterých je vzduch (textilie, peří, písek,...), jsou špatnými tepelnými vodiči. Tyto látky se používají k tepelné izolaci (například již zmíněný vzduch, popřípadě argon mezi dvojitými okny). Ideálním tepelným izolantem je vakuum. [1, 10]

S tepelnou výměnou vedením souvisí pojem součinitel tepelné vodivosti. Jeho význam si ukážeme na následujícím příkladě: Máme rovinnou stejnorodou desku o tloušťce  $d$ . Její povrchy udržujeme na teplotách  $t_1, t_2$  ( $t_1 > t_2$ ) (viz obr. 40). [1]



Obrázek 40: Vedení tepla stejnorodou deskou [41]

Po určité době se teplota v desce ustálí tak, že rovnoměrně klesá od teploty  $t_1$  k teplotě  $t_2$ , přitom předpokládáme, že tepelná výměna vedením se uskutečňuje ve směru kolmém k hraničním plochám desky, takže nedochází k tepelné výměně mezi jejími bočními stěnami a okolím. V ustáleném stavu projde plochou  $S$  za dobu  $\tau$  teplo  $Q$ , které je přímo úměrné obsahu plochy  $S$ , teplotnímu rozdílu  $\Delta t = t_1 - t_2$ , době  $\tau$  a nepřímo úměrné tloušťce desky  $d$ . Předchozí závislosti znázorňuje vztah:

$$Q = \lambda S \frac{\Delta t}{d} \tau \quad (7)$$

Veličina  $\lambda$  se nazývá součinitel tepelné vodivosti a jejím úkolem je charakterizovat nestejnou tepelnou vodivost různých látek. Její jednotkou je  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ . Součinitel tepelné vodivosti je závislý na teplotě, proto se udává pro určitou teplotu; například v MFChT jej nalezneme pro teplotu  $20^\circ C$ . [1, 10]

Tímto principem se například odvádí teplo stěnami domů zevnitř ven a dochází tak k tepelným ztrátám.

#### 3.4.4 TEPELNÁ ZTRÁTA

V klimatickém pásmu, ve kterém se nachází Česká republika, musíme značnou část roku topit. Kolik peněz za topení zaplatíme, závisí na mnoha faktorech, například na velikosti domu, teplotě uvnitř i venku a také na materiálu, ze kterého je náš domov postaven. [24]

Přáním každého je, aby se na vytopení domu spotřebovalo co nejméně energie, a tím i peněz. Toto vyjadřuje jediné číslo – tepelná ztráta. [24]

Hodnotu tepelné ztráty se nám vyplatí znát v následujících příkladech: když kupujeme dům, když chceme zateplit dům, popřípadě když uvažujeme o jiném způsobu vytápění. [24]

Teplo přechází z teplejšího objektu na chladnější – v tomto případě je teplejším objektem dům a chladnějším jeho okolí. Teplo přechází tam, kde se tato dvě prostředí stýkají – tedy na obálce domu, kterou tvoří stěny, okna, podlaha a střecha. Je dobré spočítat prostup tepla stavebními konstrukcemi (stěnami, okny a stropy). Zjistíme, kudy uniká nejvíce tepla a kde se vyplatí připlatit za stavební materiál. [24]



### 3.4.5 PŘÍKLADY

#### Příklad 1: [19]

Kolik tepla za hodinu propustí skleněná tabule o obsahu  $2 \text{ m}^2$ , jejíž tloušťka je  $4 \text{ mm}$ , je – li teplota venku  $-8^\circ\text{C}$  a teplota uvnitř místnosti  $23^\circ\text{C}$ ?

Řešení:

Teplo, které projde skleněnou tabulí za jednotku času, je přímo úměrné rozdílu teplot a ploše skleněné tabule, přes kterou prochází, a nepřímo úměrné tloušťce tabule. Konstantou úměrnosti je součinitel tepelné vodivosti. K výpočtu použijeme vztah (7).

$$\tau = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$S = 2 \text{ m}^2$$

$$d = 4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$t_1 = -8^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 23^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \text{ (z tabulek)}$$

$$Q = ?$$

---

$$Q = \lambda S \frac{\Delta t}{d} \tau$$

$$\text{Číselné dosazení: } Q = 1 \cdot 2 \cdot \frac{31}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 3600 = 55,8 \text{ MJ}$$

Odpověď: Skleněná tabule za jednu hodinu propustí  $55,8 \text{ MJ}$ .

Komentář k příkladu: Jak už výsledek nasvědčuje, kdybychom měli okna vyrobená ze skla s vlastnostmi uvedenými v této úloze, tepelné ztráty by byly velmi velké. Tepelné ztráty oken jsou v dnešní době snižovány různými způsoby, například zdvojení skla – vrstva vzduchu mezi oběma okenními tabulemi má mnohem menší součinitel tepelné vodivosti než samotné sklo, proto se přes ni ztratí mnohem méně tepla. Mezera mezi skleněnými tabulemi může být vyplněna také argonem nebo kryptonem, neboť mají ještě menší součinitel tepelné vodivosti.

**Příklad 2:** [41]

Dřevěná chata má tři stěny, podlahu a strop, které jsou dobře izolovány. Čtvrtá stěna je postavená z cihel, její rozměry jsou: šířka stěny 4,5 m, výška 2,8 m a tloušťka 30 cm. Součinitel tepelné vodivosti cihel je  $0,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Teplota uvnitř chaty je  $20^\circ\text{C}$ , venkovní teplota ukazuje  $-10^\circ\text{C}$ . Určete únik tepla za 10 hodin.

Řešení:

$$a = 4,5 \text{ m}$$

$$b = 2,8 \text{ m}$$

$$d = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = -10^\circ\text{C}$$

$$\tau = 10 \text{ h} = 36000 \text{ s}$$

$$Q = ?$$

---

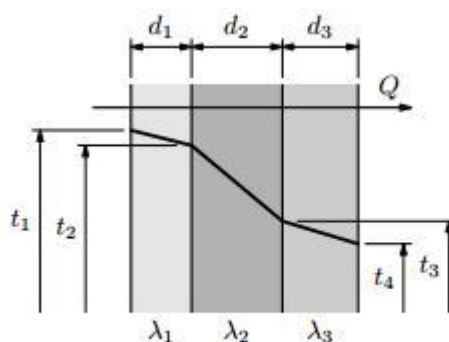
$$Q = \lambda S \frac{\Delta t}{d} \tau$$

$$\text{Číselné dosazení: } S = a \cdot b = 4,5 \cdot 2,8 = 12,6 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,6 \cdot 12,6 \cdot \frac{30}{0,3} \cdot 36000 = 27,21 \text{ MJ}$$

Odpověď: Stěna z cihel za deset hodin propustí 27,21 MJ.

Nyní si představme situaci, že bychom chtěli snížit tepelné ztráty při průchodu tepla touto stěnou. To bychom uskutečnili tak, že z obou stran stěny nahodíme omítku. Stěna se po této úpravě bude skládat z více vrstev. Ukážeme si, jak se v tomto případě tepelná ztráta počítá. [41]



Obrázek 41: Vedení tepla složenou stěnou [41]

Napíšeme si rovnice pro tepelné toky, které procházejí jednotlivými vrstvami:

$$Q_1 = \lambda_1 S \cdot \frac{t_1 - t_2}{d_1} \cdot \tau \quad (8)$$

$$Q_2 = \lambda_2 S \cdot \frac{t_2 - t_3}{d_2} \cdot \tau \quad (9)$$

$$Q_3 = \lambda_3 S \cdot \frac{t_3 - t_4}{d_3} \cdot \tau \quad (10)$$

Protože ustálený tepelný tok, který prochází všemi stěnami, má stejnou velikost, platí:  
 $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$ , můžeme rovnice (8), (9), (10) přepsat do tvarů

$$t_1 - t_2 = \frac{Q d_1}{\lambda_1 S \tau} \quad (11)$$

$$t_2 - t_3 = \frac{Q d_2}{\lambda_2 S \tau} \quad (12)$$

$$t_3 - t_4 = \frac{Q d_3}{\lambda_3 S \tau} \quad (13)$$

Po sečtení rovnic (11), (12), (13) dostaneme:

$$t_1 - t_4 = \frac{Q}{S \tau} \left( \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \right) \quad (14)$$

Z tohoto vztahu už jenom vyjádříme  $Q$ :

$$Q = \frac{(t_1 - t_4) S \tau}{\left( \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \right)} \quad (15)$$

Tento postup uvedený na příkladu tří vrstev můžeme zobecnit pro  $n$  vrstev:

$$Q = \frac{(t_1 - t_{n+1}) S \tau}{\left( \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \right)} \quad (16)$$

Na následujícím příkladu si ukážeme, jak odvozené vztahy používáme při řešení problému.

### Příklad 3: [41]

Vrátíme se zpátky k příkladu 2. Aby se zmenšily tepelné ztráty cihlové stěny, tak byla nahozena zvnějšku speciální omítkou tloušťky  $d_1 = 5 \text{ cm}$  se součinitelem  $\lambda_1 = 0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a z vnitřní strany omítkou tloušťky  $d_3 = 2 \text{ cm}$  se součinitelem  $\lambda_3 = 0,70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Naším úkolem bude vypočítat, jak se zmenšily tepelné ztráty.

Řešení:

$$a = 4,5 \text{ m}$$

$$b = 2,8 \text{ m}$$

$$d_1 = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$d_2 = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$d_3 = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = 0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 0,60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_3 = 0,70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_4 = -10^\circ\text{C}$$

$$\tau = 10 \text{ h} = 36000 \text{ s}$$

$$Q = ?$$

---

$$Q = \frac{(t_1 - t_4)S\tau}{\left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}\right)}$$

Číselné dosazení:  $S = a \cdot b = 4,5 \cdot 2,8 = 12,6 \text{ m}^2$

$$Q = \frac{(20 - (-10)) \cdot 12,6 \cdot 36000}{\frac{0,05}{0,25} + \frac{0,30}{0,60} + \frac{0,02}{0,70}} = 18,67 \text{ MJ}$$

Odpověď: Stěna z cihel pokrytá omítkou za deset hodin propustí 18,67 MJ, což je o 8,54 MJ méně než v případě, kdy stěna žádnou omítkou pokryta nebyla.

Komentář k příkladu: V podkapitole Obvodové stěny jsme počítali spotřebu tepla pro panelový dům. Budeme – li vycházet z hodnot pro rok 2012, kdy 1 GJ tepla stál ve Frýdku – Místku 583 Kč, můžeme snadno vypočítat, že spotřeba tepla v příkladu 2 (nezateplenou stěnou) odpovídá zhruba 15,90 Kč/10 hodin. V příkladu 3 tato spotřeba klesne na hodnotu 10,90 Kč/10 hodin. Úspora zateplením je tedy 5 Kč/10 hodin.

**Příklad 4:** [19]

Starší panelový dům s obvodovými zdmi tloušťky 20 cm je z vnější strany obložen izolační vrstvou polystyrenu o tloušťce 10 cm. Předpokládáme modelový příklad zimního dne, kdy je venkovní teplota ustálená na  $-10^{\circ}\text{C}$  a vnitřní teplota je udržovaná na  $20^{\circ}\text{C}$ . Naším úkolem bude určit teplotu mezi zdí a polystyrenem, dále pak kolikrát zateplení zmenší únik tepla zdmi.

Řešení:

$$d_1 = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$d_2 = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$t_1 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = -10^{\circ}\text{C}$$

$$\lambda_1 = 1,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t = ?$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = ?$$


---

Řešení:

Oba materiály, ze kterých je dům postaven (beton a polystyren), jsou za sebou, proto musí v ustáleném stavu teplo, které projde betonem, následně projít také polystyrenem, a to stejně rychle. V opačném případě by docházelo ke změnám teploty mezi nimi. Teplotu mezi těmito dvěma materiály tedy zjistíme z toho, že teplotní tok betonem musí být stejný jako teplotní tok polystyrenem.

Za podmínky rovnovážného stavu platí pro izolovanou zeď, že teplo, které projde za daný čas panelovou zdí, se musí rovnat teplu, které projde za stejný čas izolací z polystyrenu. Teplotu mezi zdí a polystyrenem můžeme určit z rovnosti prošlých tepel, protože množství tepla, které projde materiálem, je úměrné rozdílu teplot na jeho koncích.

Tedy musí platit:

$$\lambda_1 S \cdot \frac{(t_1 - t)}{d_1} \cdot \tau = \lambda_2 S \cdot \frac{(t - t_2)}{d_2} \cdot \tau \quad (17)$$

Ze vztahu (17) už jen vyjádříme hledanou teplotu  $t$ :

$$t = \frac{d_1 \lambda_2 t_2 + d_2 \lambda_1 t_1}{d_1 \lambda_2 + d_2 \lambda_1} \quad (18)$$

$$\text{Číselné dosazení: } t = \frac{0,2 \cdot 0,1 \cdot (-10) + 0,1 \cdot 1,3 \cdot 20}{0,2 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 1,3} = 16^{\circ}\text{C}$$

Pro výpočet zmenšení tepelných ztrát si vyjádříme teplo, které prošlo neizolovanou zdí, a teplo, které prošlo izolovanou zdí za daný čas.

Pro neizolovanou zeď platí:

$$Q_1 = \lambda_1 S \frac{(t_1 - t_2)}{d_1} \tau \quad (19)$$

Pro izolovanou zeď se prošlé teplo rovná teplu, které projde zdí při menším tepelném rozdílu:

$$Q_2 = \lambda_1 S \frac{(t_1 - t)}{d_1} \tau \quad (20)$$

Do rovnice (20) dosadíme za  $t$ :

$$Q_2 = \lambda_1 S \frac{(t_1 - t)}{d_1} \tau = \lambda_1 S \frac{(t_1 - \frac{d_1 \lambda_2 t_2 + d_2 \lambda_1 t_1}{d_1 \lambda_2 + d_2 \lambda_1})}{d_1} \tau = \lambda_1 \lambda_2 S \frac{(t_1 - t_2)}{d_1 \lambda_2 + d_2 \lambda_1} \cdot \tau \quad (21)$$

Poznámka: Vidíme, že oba součinitele tepelné vodivosti jsou zde v rovnocenné pozici, takže stejný vztah bychom dostali, i pokud bychom vyjadřovali teplo, které projde přes polystyren.

Nakonec určíme podíl obou tepel:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 S \frac{(t_1 - t_2)}{d_1 \lambda_2 + d_2 \lambda_1} \cdot \tau}{\lambda_1 S \frac{(t_1 - t_2)}{d_1} \cdot \tau} = \frac{d_1 \lambda_2}{d_1 \lambda_2 + d_2 \lambda_1} \quad (22)$$

Číselné dosazení:  $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{0,2 \cdot 0,1}{0,2 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 1,3} = 0,13 = 13\%$

Odpověď: Výsledná teplota mezi zdí a polystyrenem je 16°C a po izolování zdí klesne únik tepla zdi na 13% původní hodnoty.

#### 4. ZÁVĚR

Diplomová práce pojednává o termokameře jako o nové pomůcce zpestřující výuku žákům nejenom středních škol. Termokamera jako učební pomůcka na většině škol chybí. Mezi hlavní důvody absence termokamery na školách určitě patří její vysoká pořizovací cena. I přesto je na zvážení, jak moc by tato pomůcka byla pro žáky nápomocná.

Tato práce je vhodná pro studenty středních škol a pro případné zájemce fyziky. Dále je taky vhodná jako učební pomůcka pro učitele k rozšíření učiva o teplotě, elektromagnetickém záření, vedení tepla a termovizi celkově.

Úkolem diplomové práce bylo zpracování studijního materiálu zaměřeného na fyzikální problematiku termovize, dále pak navržení a realizace experimentálních úloh s využitím termokamery.

Kdyby má práce žákům, studentům a čtenářům problematiku termovize alespoň trochu přiblížila a vzbudila v nich zvědavost a zájem, pak by svůj úkol splnila.

## 5. LITERATURA

- [1] BARTUŠKA, Karel a Emanuel SVOBODA. *Fyzika pro gymnázia: Molekulová fyzika a termika*. 5. vydání. Praha: Prometheus, 2000. ISBN 978-80-7196-383-7.
- [2] FLIR. *Uživatelská příručka*. USA, 2011, 202 s.
- [3] HALLIDAY, David. *Fyzika: Elektromagnetické vlny-Optika-Relativita*. 1. vydání. Brno: Prometheus, 2000. ISBN 80-214-1868-0.
- [4] KREIDL. *Měření teploty: Senzory a měřící obvody*. 1. vydání. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-7300-145-4.
- [5] LYSENKO, Vladimír. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. 1. vydání. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-7300-180-2.
- [6] PEHLE, Tobias. *Vlhkost v domě: Prevence a odstraňování*. 1. vydání. Dobřejšovice: Rebo Productions, 2001. ISBN 80-7234-196-0.
- [7] PETR TYL, Zdeněk a Roman ŠUBRT. *Moderní okna*. Praha: GRADA, 2012. ISBN 978-80-247-4286-1.
- [8] ŠÁLA, Jiří. *Zateplování budov*. 1. vydání. Praha: GRADA, 2000. ISBN 80-7169-833-4.
- [9] ŠÁLA, Jiří. *Zateplení panelových domů*. Praha: Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 2001. ISBN 80-86364-80-1.
- [10] ŠUBRT, Roman. *Tepelné izolace domů a bytů*. 2. rozšířené vydání. Praha: GRADA, 1998. ISBN 80-7169-851-2.
- [11] ŠUBRT, Roman. *Tepelné izolace v otázkách a odpovědích*. 2. vydání. Praha: BEN, 2008. ISBN 978-80-7300-234-3.
- [12] ŠUBRT, Roman. *Tepelné mosty: Pro nízkoenergetické a pasivní domy*. 1. vydání. Praha: GRADA, 2011. ISBN 978-80-247-4059-1.
- [13] 4-construction.com: Fotogalerie-Izolační zasklívací jednotky. [online]. 2007 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://www.4-construction.com/cz/magazin/obrazky/izolacni-zasklivaci-jednotky/0/>
- [14] Artemis.osu.cz: Vlhkost vzduchu. [online]. [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://artemis.osu.cz/Gemet/meteo2/vlhkost.htm>
- [15] Automatizace.hw.cz: Infračervené kvantové detektory a termokamery - úvod. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/infracervene-quantove-detektory-termokamery-uvod>



- [16] BRYNDA, Petr. Fd.cvut.cz: Úvod do teorie termovizního měření. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: [http://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1s/doc/works/teorie\\_brynda.pdf](http://www.fd.cvut.cz/projects/k611x1s/doc/works/teorie_brynda.pdf)
- [17] Fasadnipolystyren.cz: Fasádní polystyren. [online]. 2013 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://www.fasadnipolystyren.cz/>
- [18] Fyzika.jreichl.com: Záření absolutně černého tělesa. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/538-zareni-absolutne-cerneho-telesa>
- [19] Fyzikalniulohy.cz: Sbíрка řešených úloh z fyziky. [online]. 2011. vyd. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://fyzikalniulohy.cz/>
- [20] Fyzmatik.pise.cz: Rosný bod - proč se zrcadlo v koupelně orosí?. [online]. [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/787-rosny-bod-proc-se-zrcadlo-v-koupelne-orosí.html>
- [21] Gymhol.cz: ZÁŘENÍ ABSOLUTNĚ ČERNÉHO TĚLESA. In: [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: [http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13\\_act/13\\_act.htm](http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/13_act/13_act.htm)
- [22] Inexstav.cz: Plísň v interiéru. [online]. 2008 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://www.inexstav.cz/odstranovani-plisni/plisne-v-interieru/>
- [23] Marcal.cz: Zateplení fasády domu minerální fasádní vatou MultiTerm. [online]. [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://www.marcal.cz/zatepleni-fasady-mineralni-fasadni-vatou-multiterm.html>
- [24] Nazeleno.cz [online]. 2012. vyd. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/>  
Za jak dlouho se vyplatí zateplení domu? Spočítejte si, kolik ušetříte. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/za-jak-dlouho-se-vyplati-zatepleni-domu-spocitejte-si-kolik-usetrite.aspx>  
Tepelné izolace - zateplení oken, stěn či stropů. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vune-penez/clanky-5/tepelne-izolace-zatepleni-oken-sten-ci-stropu-1.aspx>
- [25] Odbornecasopisy.cz: Aplikačné možnosti termovízie v praxi. [online]. [cit. 2012-10-31]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26599](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26599)
- [26] Online.muni.cz: Termovizní kamera detekuje nádory i únik tepla. [online]. [cit. 2012-10-31]. Dostupné z: <http://www.online.muni.cz/udalosti/283-termovizni-kamera-detekuje-nadory-i-unik-tepla>
- [27] PAVELEK, Milan. Teorie termovizních měření. [online]. [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://147.229.133.6/~pavelek/optika/0700-z01.pdf>

- [28] PAVELEK, Milan. Otp.fme.vutbr.cz: Úvod. [online]. [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: <http://otp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0100.htm>
- [29] Plisne.com: Plísně na zdi domu a v bytě. [online]. 2011 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://www.plisne.com/>
- [30] Pro-pasiv.cz [online]. [cit. 2012-10-31]. Dostupné z: <http://www.pro-pasiv.cz/>  
Termovize v elektrotechnice. Dostupné z: <http://www.pro-pasiv.cz/termovize-v-elektrotechnice/>  
Termovize ve fotovoltaiice. Dostupné z: <http://www.pro-pasiv.cz/termovize-ve-fotovoltaiice/>
- [31] Qtest.cz: Princip bezdotykového měření teploty. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm>
- [32] Stavarina.cz [online]. 2007 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://www.stavarina.cz/>  
Tepelně vlhkostní podmínky v interiéru obytných staveb vedoucí ke vzniku plísní. Dostupné z: <http://www.stavarina.cz/poruchy/plisne-v-interieru.htm>  
Tepelné mosty. Dostupné z: <http://www.stavarina.cz/poruchy/tepelne-mosty.htm>
- [33] Stavba.tzb-info.cz [online]. [cit. 2012-10-29]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/>  
Využití termokamer testo ve stavební praxi. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/stavebni-tepelna-technika/7069-vyuziti-termokamer-testo-ve-stavebni-praxi>  
Vlhkost a kondenzace v konstrukcích. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/vlhkost-a-kondenzace-v-konstrukcich/9134-factory-ovlivnujici-vnitri-povrchovou-teplotu-a-kondenzaci-na-povrchu-konstrukci-dil-1>
- [34] Stavebnictvi3000.cz: Vakuová izolace. [online]. [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/vakuova-izolace/>
- [35] Termokamera.cz [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://www.termokamera.cz/>  
Princip termografického měření. Dostupné z: [http://www.termokamera.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4&Itemid=9](http://www.termokamera.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=4&Itemid=9)  
Termokamera ve zdravotnictví. Dostupné z: [http://www.termokamera.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13&Itemid=9](http://www.termokamera.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=9)
- [36] Termorevize.cz: Termovize ve fotovoltaiice. [online]. [cit. 2012-10-31]. Dostupné z: <http://www.termorevize.cz/termovize-ve-fotovoltaiice>

- [37] Testo.cz: Emisivita, reflexe, transmise. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: [http://www.testo.cz/online/abaxx-?\\$part=PORTAL.CZE.ContentDesk&\\$event=show-from-menu&categoryid=104097941](http://www.testo.cz/online/abaxx-?$part=PORTAL.CZE.ContentDesk&$event=show-from-menu&categoryid=104097941)
- [38] Thermalcities.com: A PRIMER ON INFRA-RED THERMOGRAPHY. [online]. [cit. 2012-10-21]. Dostupné z: <http://www.thermalcities.com/HOWITWORKS.htm>
- [39] Tzb-info.cz: Teplota a její měření. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>
- [40] Utp.fs.cvut.cz: Bezdotykové měření teploty. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/104.pdf>
- [41] VOLF, Ivo, Miroslava JAREŠOVÁ a Miroslav OUHRABKA. Jaroska.cz: Přenos tepla. [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: [http://www.jaroska.cz/fo/\\_media/archiv/knihovna/termika.pdf](http://www.jaroska.cz/fo/_media/archiv/knihovna/termika.pdf)
- [42] Wikipedia.org: Elektromagnetické spektrum. [online]. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9\\_spektrum](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum)