

Termokamera ve výuce fyziky

PaedDr. Jiří Tesař, Ph.D.

Katedra aplikované fyziky a technické výchovy, Fakulta pedagogická, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Jeronýmova 10, 371 15 České Budějovice

Telefon: +420 387 773 051

E-mail: raset@pf.jcu.cz

Mgr. Vladimír Vochozka

Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Fakulta pedagogická, Západočeská univerzita v Plzni

Klatovská tř. 51, 306 19 Plzeň

Telefon: +420 608 271 511

E-mail: vochozka@kmt.zcu.cz

Úvod

Termokamera (někdy je také používán termín termovize) pracuje na principu bezdotykového měření teploty. Její princip vychází ze skutečnosti, že všechna tělesa, jejichž teplota je větší než absolutní nula (to jsou všechna tělesa) vyzařují elektromagnetické záření. Jeho intenzita závisí na teplotě tělesa a jeho povrchu.

Termokamera

Konstrukce termokamery je analogická ke konstrukci videokamery, resp. digitálního fotoaparátu. Objektiv zobrazuje dopadající tepelné záření na čidlo, které vyhodnotí jeho intenzitu. Tyto hodnoty jsou následně digitalizovány a převedeny do obrazové podoby, na tzv. **termogram**. Termogram, podává informaci o povrchovém rozložení teploty měřeného tělesa.

Nejznámějším výrobcem termokamer je firma FLIR. Její výrobky zastupují široké spektrum zařízení od nejjednodušších až po specifické použití pro výzkumné účely. Speciální jednoduchou termokameru, vhodnou pro použití ve výuce, zatím žádná firma nenabízí. Pro školní účely je tedy nutné vybírat z profesionálních zařízení v dostupné cenové kategorii. Cenově se nejnižší třída pohybuje okolo 40 000 Kč [1].

Termovize umožňuje sledovat tepelné děje přímo a v reálném čase. Zatímco sledování změn v systému pomocí odečítání hodnot z teploměru lze považovat za nepřímé měření, s termokamerou lze sledovat tepelné změny okamžitě. Je však nutné si uvědomit, že vyhodnocujeme pouze teplotu povrchu. Při zapojení tohoto prvku do výuky je třeba brát zřetel na to, že stejně jako u všech jiných měřících přístrojů nenaměříme absolutně přesné hodnoty.

Při každém měření s termokamerou musíme vždy napřed provést její kalibraci a zvážit všechny ostatní vlivy. U termokamery tedy obvykle nastavujeme okolní teplotu, relativní vlhkost prostředí, vzdálenost od měřeného předmětu a především emisivitu. Emisivita je vlastností povrchu materiálu, který pozorujeme. Je odlišná pro lesklé, matné materiály, závisí na vlnové délce záření, teplotě měřeného povrchu a úhlu snímání. Přehled hodnot emisivity pro různé materiály lze nalézt na [2].

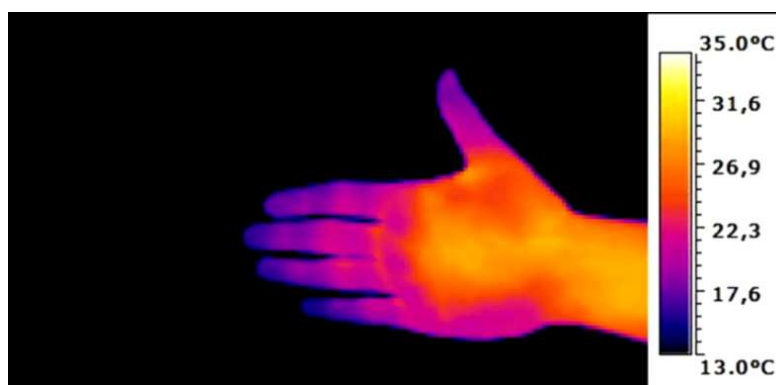
Aby bylo měření objektivní a přesné, je vhodné měřený prvek opatřit materiálem s dobrou tepelnou vodivostí, nízkou tepelnou kapacitou a o známé emisivitě. V praxi se využívá např. hliníková fólie opatřená černým matovým nátěrem, nebo alespoň zmiňovaný černý matný nátěr, jehož hodnotu emisivity známe.

Jako ukázkou užití termokamery při výuce fyziky na ZŠ rozebereme čtyři jednoduché experimenty. Všechny tyto pokusy lze provést demonstračně, jejich předností je, že žáci mají možnost vidět změnu teploty okamžitě, což umožňuje lepší pochopení probíraného učiva z termiky.

Tření dlaní

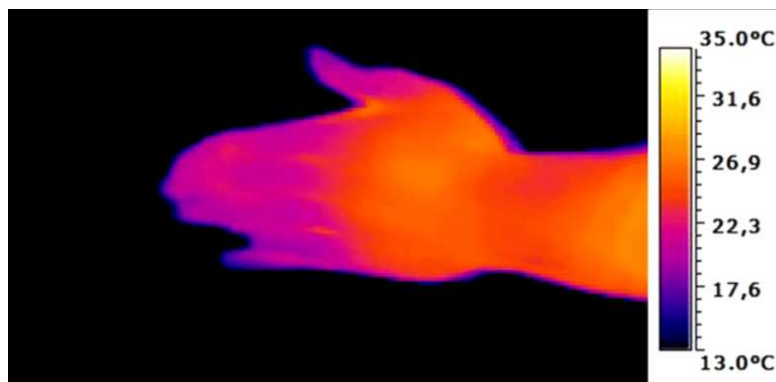
První možnost užití termokamery se naskytá při zavádění pojmu **vnitřní energie**. Žáci jsou seznámeni s tvrzením, že například při tření se zvyšuje vnitřní energie a stoupá teplota tělesa. V našem případě využijeme známý poznatek, že při tření rukou navzájem o sebe se zahřívají. Pokusíme se ověřit, zda při tomto jevu nejde pouze o subjektivní pocit, ale opravdu dochází ke zvýšení teploty na vnitřní straně dlaní a případně tento jev kvantitativně vyhodnotit.

Nejprve provedeme pohled na obě dlaně a zjistíme jejich teplotu v klidu (Obr. č. 1). Teplotu dlaní porovnáme s okolní teplotou a zároveň diskutujeme o teplotě rukou oproti vnitřní teplotě těla.



Obrázek č. 1 - normální teplota dlaně

Poté provedeme pokus - třeme jednu dlaň o druhou po krátkou dobu cca 20 sekund (Obr. č. 2).



Obrázek č. 2 - vzájemné tření dlaní

Ruce poté otočíme vnitřní dlaní směrem ke kameře (Obr. č. 3). Podle teplotní škály můžeme vyhodnotit teplotu různých oblastí rukou. Nejteplejší jsou místa samotného dotyku, kde docházelo k nejintenzivnějšímu tření po nejdelší dobu. Dojdeme tak k ověření

hypotézy, že povrchová teplota vnitřních dlaní opravdu vzrostla a nejedná se pouze o subjektivní pocit – nejvyšší zvýšení teploty je téměř 10 °C.



Obrázek č. 3 - místa s nejvyšší teplotou

Neméně zajímavé může být následné pozorování, při kterém sledujeme chladnutí dlaní a změnu polohy teplejších míst na ruce.

Solení sněhu

Záběr kamery nasměrujeme na sníh, v našem případě je jeho teplota cca -2 °C, tj. totožná s venkovní teplotou. Sníh netaje a jeho teplota je přibližně stejná ve všech místech (Obr. č. 4). V pravé straně termogramu je zobrazena teplotní škála, která ukazuje rozsah teplot, tj. od -1 °C do 19,9 °C. Citlivost kamery je samozřejmě větší, v našem případě se jedná o rozsah od -20 °C do 250 °C.



Obrázek č. 4 - sníh při venkovní teplotě -2 °C

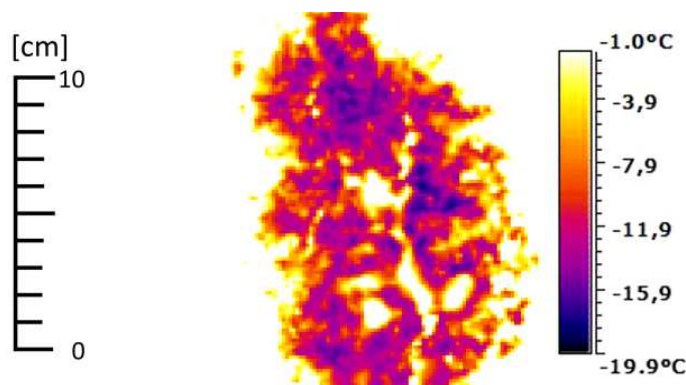
Pravou stranu sněhu, který je v záběru kamery, začneme posypávat krystalickou kuchyňskou solí. Hned po dopadu prvních krystalů dochází k rozpouštění soli a **tání** sněhu. K rozpouštění soli a tání sněhu je třeba dodávat skupenské teplo, které je odebíráno z okolních míst sněhu, což se projevuje klesáním teploty těchto míst. Na obr. č. 5 vidíme tyto body žlutě zbarvené. Teplota nejtavnějších oblastí dosahuje až -6 °C.

Aby posypová sůl účinně odstraňovala (roztávala) sníh, nesmí být sníh suchý. Pouze vlhký sníh umožňuje rozpouštění soli, vznik roztoku a odstranění sněhu, který se rozpouští. V případě větších mrazů, kdy dopadají krystaly soli na suchý a zmrzlý povrch, nedochází k rozpouštění soli a sníh netaje. V tomto případě je třeba rozprašovat koncentrovaný roztok soli, aby došlo k jeho rozpouštění v suchém sněhu. [3]



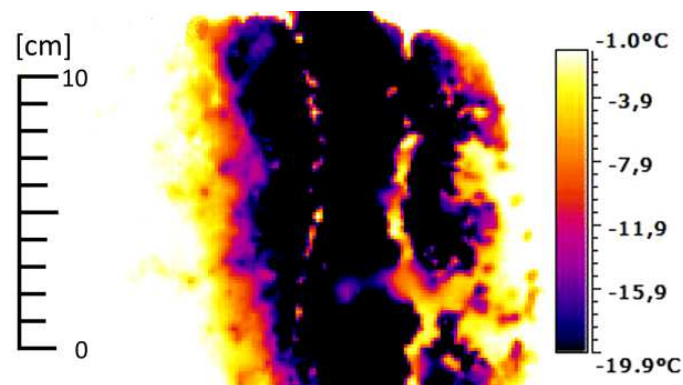
Obrázek č. 5 - pravá polovina sněhu posypaná solí

Po deseti sekundách má posolená část sněhu teplotu $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a na některých místech dosahuje teplota hodnotu $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ – viz obr. č. 6.



Obrázek č. 6 – teplota sněhu po 10 sekundách

Po jedné minutě je již většina sněhu rozpuštěna, vzniká roztok, jehož teplota nabývá hodnot nižších než $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, viz obr. č. 7. Nižší teplotu nedokáže použitá kamera zachytit.



Obrázek č. 7 - teplota sněhu po 60 sekundách

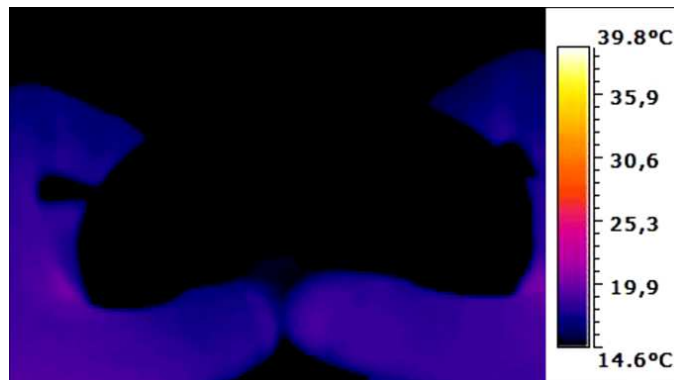
Tání sněhu obvykle nastává, pokud teplota vzduchu nad sněhovou pokrývkou vystoupí nad $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nejprve dochází k tání a rozpouštění krystalků ve vrchní vrstvě. Zároveň voda z tajícího sněhu přenáší teplo do spodních vrstev a dochází k tání sněhu i tam.

Sníh taje při nižší teplotě než by měl. Vše je způsobeno přidáním vhodné směsi, v našem případě chloridu sodného. Přidáním kuchyňské soli klesne teplota tání na mí-

nus 2 °C. Na rozpuštění krystalické látky je potřeba teplo, které je odebíráno z okolí a tím dochází k poklesu teploty směsi sněhu a soli [4].

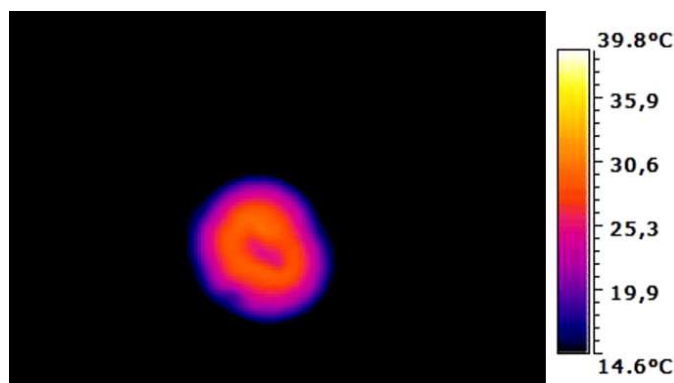
Zahřívací polštářek

Tuhnutí je opačný proces k tání, dochází při něm k uvolňování tepla. Zahřívací polštářek je vyroben ze směsi octanu sodného a vody. Polštářek jsme umístili do vody a tu uvedli do varu, jeho vnitřní struktura se změnila na gel. Prohnutím plíšku (Obr. č. 8), který je uvnitř polštářku, jsme způsobili změny vazeb mezi molekulami octanu a tím vyvolali proces tuhnutí směsi octanu.



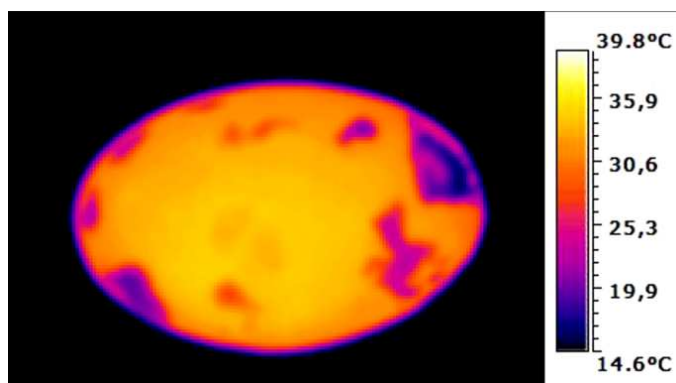
Obrázek č. 8 – polštářek před prohnutím plíšku

Skoro ihned po začátku tuhnutí první oblasti se tento jev přesouvá do celého objemu. Kamera okamžitě zobrazuje změnu teploty (Obr. č. 9).



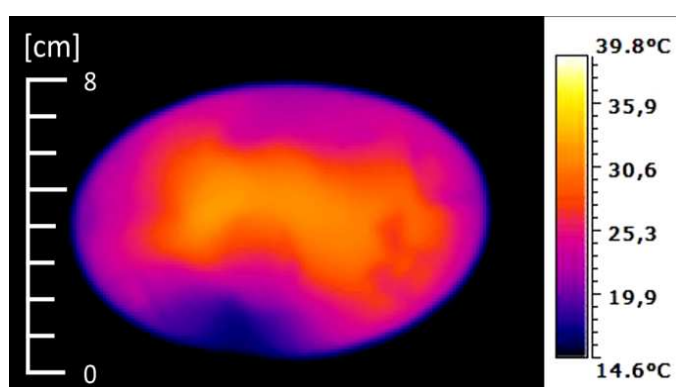
Obrázek č. 9 – polštářek těsně po prohnutí plíšku

Do minuty je již změna teploty viditelná v celém objemu a dosahuje maximální hodnoty 37 °C. Při tuhnutí dochází k rychlému uvolnění tepla. Skvrny, které můžeme pozorovat na obrázku č. 10, jsou oblasti s nižší teplotou. Tyto části byly ještě před prohnutím plíšku v pevném skupenství, protože se nikdy nepodaří dokonale uvést do varu celý obsah polštářku. Jejich ohřátí je ovlivněné okolím, samy zdrojem uvolněného tepla nejsou.



Obrázek č. 10 – polštářek po 1 minutě po prohnutí plíšku

Po 5 minutách jsou již patrné chladnoucí části u okrajů (Obr. č. 11). Po sedmi minutách se polštářek blíží k pokojové teplotě. Stále si tak udržuje teplotu okolo 21 °C.



Obrázek č. 11 – polštářek po 7 minutách po prohnutí plíšku

Kamerou můžeme shlédnout celý proces od bouřlivého počátku tuhnutí a rychlé zvýšení teploty až k pomalému chladnutí. Oproti předešlému pokusu, kdy se teplo spotřebovávalo, pozorujeme opačný děj, kdy dochází k uvolňování tepla.

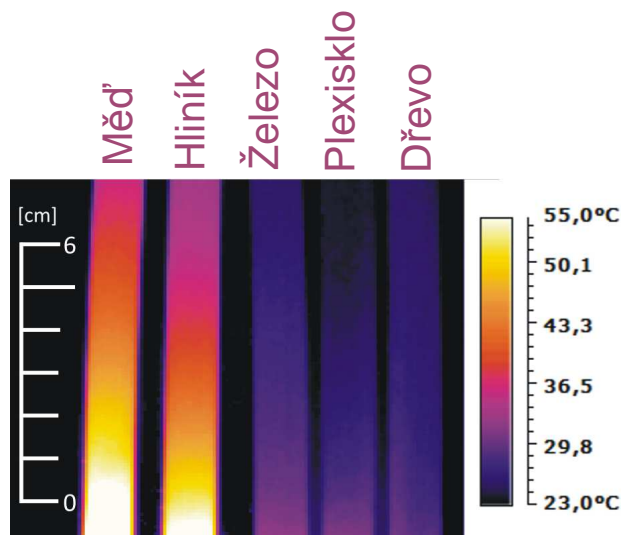
Tepelná vodivost

Jako další možnost využití termokamery při výuce jsme připravili konkrétní ukázkou demonstračního pokusu na tepelnou vodivost různých látek (v našem případě měď, hliník, železo, plexisklo a dřevo). Uspořádání pokusu je standardní – kádinka s horkou vodou, proužky z různých látek opatřené z jedné strany černou matovou barvou a vhodné uchycení pro snadné sledování termokamerou – viz obrázek č. 12.



Obrázek č. 12 – uspořádání pokusu na tepelnou vodivost látek

Na obrázku č. 13 vidíme termogram průběhu vedení tepla v jednotlivých prouzcích. Pro snazší orientaci je do levé části termogramu vložena délková stupnice. Z vyhodnocení termogramu je zřejmé, že nejlepším vodičem tepla je v našem případě měď a nejlepším tepelným izolantem dřevo. Na základě tohoto pokusu lze vést s žáky smysluplnou diskusi o zateplování budov, pasivních chladičích v elektronice apod.



Obrázek č. 13 – termogram tepelné vodivosti různých materiálů

Závěr

Ve výuce termiky je termokamera svěžím zpestřením a novým pohledem na známé děje. Její největší přínos je v názornosti a možnosti sledovat tepelné děje v reálném čase. Věřme, že postupem času se pořizovací cena termokamer ještě více sníží, a to na cenovou úroveň, která je pro školy přijatelná a budeme se s tímto atraktivním přístrojem ve výuce fyziky setkávat mnohem častěji než dosud.

Literatura a další zdroje

- [1] Termokamery: TERMOKAMERY ruční, TERMOVIZE. AHLBORN MĚŘICÍ A REGULAČNÍ TECHNKA SPOL. S R.O. *Termokamery* [online]. 2013 [cit. 2013-10-08]. Dostupné z: <http://www.termokamery.cz/cs/kategorie/termokamery-rucni-termovize/?stranka=1>
- [2] Tabulka emisivit nekovových prvků. NEWPORT.CZ. NEWPORT ELECTRONICS, s.r.o.: *Tabulka emisivity nekovových materiálů* [online]. 2005 [cit. 2013-09-11]. Dostupné z: <http://newport.cz/techinfo/emiskovy.html>
- [3] TESAŘ, Jiří a František JÁCHIM. Fyzika 5 pro základní školu: energie. 1. vyd. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, 2010-2011, s. 63. ISBN 978-80-7235-491-7.
- [4] VOCHOZKA, Vladimír. Sníh očima termokamery. In: 3 pól Magazín plný pozitivní energie [online]. Praha: Energetická společnost ČEZ, 2013 [cit. 2013-04-21]. Dostupné z: <http://3pol.cz/1379-snih-ocima-termokamery>