

# Experimenty se systémem Vernier

## Jak funguje tepelná izolace



Petr Kácovský, KDF MFF UK

Tyto experimenty vznikly v rámci diplomové práce „Využívání dataloggerů ve výuce fyziky“, obhájené v květnu 2012 na MFF UK v Praze.

Materiály je možné volně používat pro výukové účely.

## 5.4 Jak funguje tepelná izolace

### 5.4.1 Provedení a zpracování měření

**Anotace:** Cílem experimentu je měřením demonstrovat rozdíly v tepelné vodivosti různých materiálů.

**Klíčové kompetence ([1]):**

*Gymnaziální vzdělávání – Kompetence k řešení problémů – žák:*

- kriticky interpretuje získané poznatky a zjištění a ověřuje je, pro své tvrzení nachází argumenty a důkazy, formuluje a obhajuje podložené závěry
- vytváří hypotézy, navrhuje postupné kroky, zvažuje využití různých postupů při řešení problému nebo ověřování hypotézy

*Gymnaziální vzdělávání – Kompetence komunikativní – žák:*

- efektivně využívá moderní informační technologie

**Očekávané výstupy ([1]):**

*Gymn. vzdělávání – Člověk a příroda – Fyzika – Fyzikální veličiny a jejich měření:* Žák měří vybrané fyzikální veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření.

#### **Teoretický úvod:**

Jedním z mechanismů přenosu vnitřní energie z míst s vyšší teplotou do míst s nižší teplotou je tepelná výměna vedením. Každý materiál vede teplo (neexistuje tedy „ideální“ tepelný izolant), můžeme ale rozlišovat dobré a špatné vodiče tepla.

V pevných elektricky nevodivých látkách vysvětlujeme tepelnou vodivost tak, že rozkmitané částice v zahřívané části tělesa předávají svoji kinetickou energii sousedním částicím. V kovech zprostředkovávají tepelnou výměnu zejména volné elektrony, což z kovů dělá velmi dobré vodiče tepla.

Fyzikální veličina, která popisuje schopnost materiálu zprostředkovávat tepelnou výměnu vedením, se nazývá součinitel tepelné vodivosti, značka:  $\lambda$ ,  $[\lambda] = \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Představíme-li si tyč délky  $d$  s kolmým průřezem o obsahu  $S$  (stejně tak lze pracovat s blokem materiálu s těmito parametry), platí:

$$Q = \lambda S \frac{\Delta T}{d} \tau, \quad (5.21)$$

kde  $\Delta T$  je teplotní rozdíl mezi konci tyče (předpokládáme, že je udržován konstantní) a  $Q$  je teplo prošlé libovolným kolmým průřezem o obsahu  $S$  za čas  $\tau$  (viz [24]). Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  pak odpovídá teplu, které projde za 1 s libovolným kolmým průřezem tyče dlouhé 1 m, je-li mezi jejími konci udržován teplotní rozdíl 1 K (předpokládáme, že teplota klesá rovnoměrně od teplejšího konce ke chladnějšímu). Typické hodnoty součinitele tepelné vodivosti naleznete například v [25], pro orientaci zmiňme, že pro kovy jsou jeho hodnoty o dva řády vyšší než pro vodu a o tři řády vyšší než pro vzduch, který je velmi dobrým tepelným izolantem.

**Poznámka:** V naší úloze se zaměříme spíše na kvalitativní stránku tepelné vodivosti, vztah je tedy uveden zejména jako inspirace pro eventuální samostudium.

**Potřebné měřicí vybavení:** Při měření byla použita dvě bodová teplotní čidla Vernier STS-BTA, dvě rozhraní Vernier Go!Link a program Logger Pro. Alternativně lze užít tyto kombinace:

- počítač s programem Logger Lite + 2× bodové teplotní čidlo Vernier STS-BTA + 2× rozhraní Vernier Go!Link
- rozhraní Vernier LabQuest + 2× bodové teplotní čidlo Vernier STS-BTA

Obě rozhraní Vernier Go!Link lze současně nahradit buď jedním rozhraním LabQuest nebo jedním rozhraním LabQuest Mini.

### **Další pomůcky:**

- Mělká polystyrenová nádobka (v tomto experimentu byla použita nádobka o rozměrech 18 cm×13 cm×2 cm, výřez na obr. 5.39).
- Destičky stejné tloušťky z různých materiálů - sklo, plast, polystyren, kov,... Destičky by měly sloužit jako „víčko“ nádoby, je tedy vhodné je upravit na takový rozměr, aby odpovídaly dvěma větším rozměrům nádoby (v našem případě 18 cm×13 cm, výřez na obr. 5.39).
- Rychlovarná konvice
- Izolepa + nůžky

**O bodovém teplotním čidle Vernier STS-BTA:** Čidlo měří teplotu v rozsahu  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$  s přesností nejhůře  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (při teplotách kolem  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  udává výrobce přesnost  $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Jeho provedení v podobě termistoru zabudovaného do malé měřicí pecičky minimalizuje tepelnou kapacitu čidla a umožňuje měřit teplotu povrchů, což právě v této úloze využijeme.

### **Provedení měření:**

Do polystyrenové nádoby nalejeme horkou vodu a přikryjeme nádobku skleněnou destičkou. Přitom měříme jedním čidlem teplotu vody uvnitř a druhým čidlem teplotu povrchu na vnější straně destičky, obojí po dobu deseti minut. Stejně měření pak zopakujeme pro polystyrenovou destičku. Zajímat nás bude zejména srovnání, v jakém případě se bude voda rychleji ochlazovat, event. jaké budou teplotní rozdíly mezi teplotou vody a teplotou vnější strany destičky.

Zde je postup našeho měření:

**1.** Pomocí dvou rozhraní Vernier Go!Link (nebo jiným výše popsáním způsobem) připojte k počítači dvě bodová teplotní čidla a vyčkejte na automatickou detekci. Úspěšné přihlášení obou čidel poznáte tak, že na svislé ose grafu, který se objeví popisky *Teplota 1* a *Teplota 2*.

2. Klávesovou zkratkou CTRL+D vyvolejte okno *Sběr dat*, nastavte délku měření 600 sekund a ponechte vzorkovací frekvenci 2 Hz. Potvrďte tlačítkem *Hotovo*.

3. Například pomocí izolepy upevněte jedno bodové teplotní čidlo do polystyrenové nádoby tak, aby po zalití vodou mohlo být celé ponořené (obr. 5.39). Druhé čidlo upevněte na tu stranu skleněné destičky, která zůstane při experimentu nahoře. Uspořádání během měření s polystyrenovou destičkou ukazuje obrázek 5.39.



Obrázek 5.39: Umístění teplotních čidel při experimentu

4. Přiveďte vodu v konvici k varu a nalejte ji do polystyrenové nádoby. Rychle přiklopte skleněnou destičku (teploměr zůstává na její horní straně) a současně tlačítkem *Zahájit sběr dat* (obr. 4.3) spusťte měření.

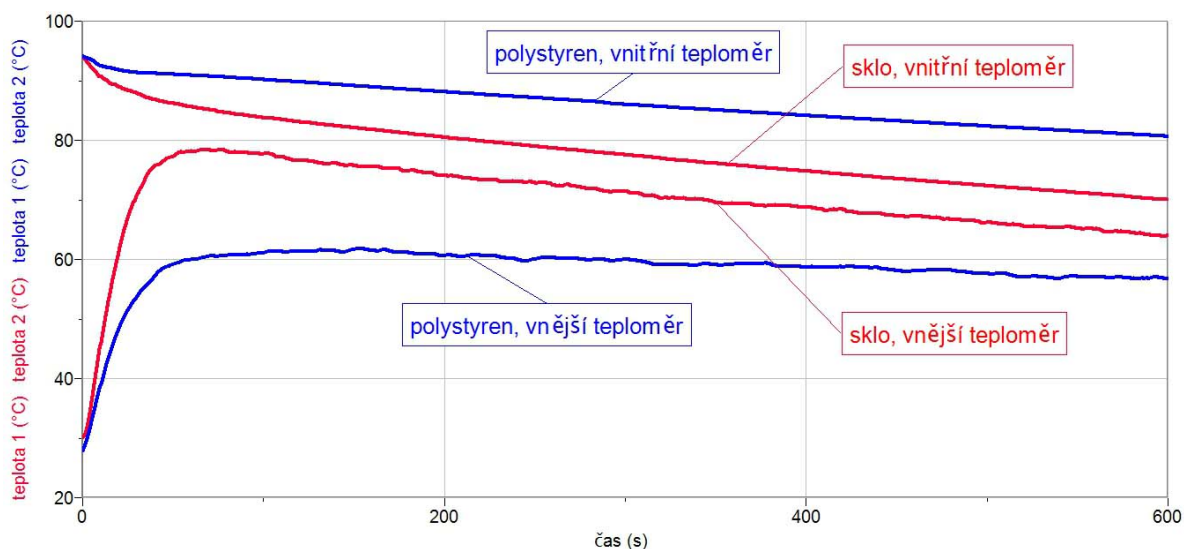
5. Po deseti minutách bez vašeho zásahu se měření automaticky ukončí. Pomocí klávesové zkratky CTRL+L uchovejte měření a použitou vodu vylejte. Čidlo upevněné na dně nádoby ponechte na jeho místě, druhé čidlo přemístěte ze skleněné destičky na polystyrenovou. Znovu ohřejte vodu v konvici, nalijte ji do nádoby, spusťte měření a zakryjte tentokrát polystyrenovou destičkou. Do grafu se začnou vedle dříve naměřených grafů vykreslovat další barevně odlišené závislosti.

6. Po dalších deseti minutách se měření automaticky ukončí. Graf nyní obsahuje celkem čtyři závislosti teploty na čase - dvě pro první a dvě pro druhé měření. Pro větší přehlednost můžete pomocí příkazu *Vložit - Textová poznámka* opatřit grafy stručnými textovými poznámkami. Vzorové závislosti ukazuje obrázek 5.40.

### Zpracovaných naměřených dat:

Kvalitativně vyhodnoťte měření. Na získaných závislostech lze pozorovat dva jevy:

- Pokles teploty je po zakrytí různými materiály různě rychlý.
- Rozdíl mezi teplotou měřenou vnějším a vnitřním teploměrem se pro různé materiály ustálí na různých hodnotách.

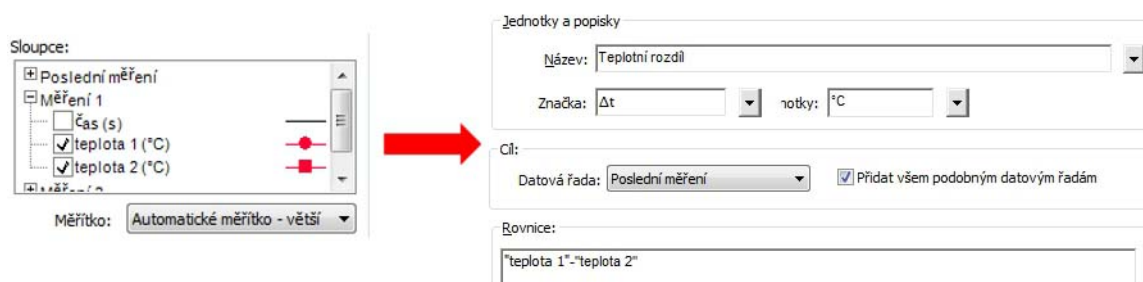


Obrázek 5.40: Vzorově naměřená závislost pro polystyrenovou a skleněnou destičku

Dále tyto jevy rozeberme:

1. Je patrné, že pokles teploty je v případě vnějšího teploměru (umístěného na horní straně destiček) i vnitřního teploměru (ponořeného ve vodě) rychlejší při zakrytí skleněnou destičkou, pomalejší při zakrytí destičkou z polystyrenu. Odpovídá to skutečnosti, že sklo má výrazně lepší tepelnou vodivost a rychleji tedy odvádí teplo do okolí.

2. V případě obou materiálů také došlo po prvních přibližně 3 minutách měření k ustálení teplotního rozdílu mezi měřenými teplotami. Průběh teplotního rozdílu si můžeme znázornit graficky - nejdříve například pro sklo. Aby nám v grafu nepřekážely závislosti naměřené pro polystyren, skryjeme je: Klikněte pravým tlačítkem na plochu grafu, vyberte *Nastavení grafu - Nastavení souřadnicových os* a v okně *Sloupce* nechte zaškrtnuté pouze položky *teplota 1* a *teplota 2* v části *Měření 1* (obr. 5.41); všechny ostatní volby zrušte a potvrďte tlačítkem *Hotovo*.

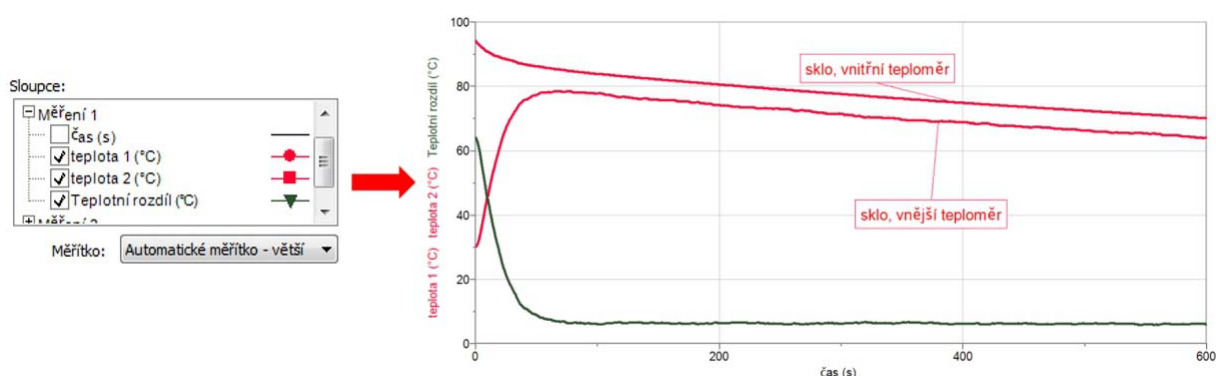


Obrázek 5.41: Skrytí závislosti pro polystyren a dopočítávání nového sloupce

3. Vyberte na hlavním panelu nástroj *Data - Nový dopočítávaný sloupec*, nové okno vyplňte dle obrázku 5.41 (podrobnější informace k vyplňování dopočítávaných sloupců naleznete v návodu „Kam se ztrácí energie“) a potvrďte kliknutím na *Hotovo*. Do tabulky přibude sloupec *Teplotní rozdíl*.

4. Aby se hodnoty z tohoto sloupce zobrazily do grafu, postupujte dle bodu 2 do nabídky *Nastavení souřadnicových os* a v okně *Sloupce* zaškrtněte v části *Měření 1* také položku *Teplotní rozdíl* (obr. 5.42). Do grafu se vykreslí závislost teplotního rozdílu na čase (obr. 5.42). Stejným způsobem můžeme zopakovat pro polystyren.

Ve vzorovém měření se v případě skla ustálil teplotní rozdíl na hodnotě přibližně 6 °C, v případě polystyrenu na hodnotě cca 24 °C. Funkci tepelného izolantu můžeme tedy popsat mj. jako schopnost udržovat velké teplotní rozdíly mezi prostředími, která izolant odděluje.



Obrázek 5.42: Zobrazení závislosti teplotního rozdílu  $\Delta t$  na čase pro sklo

## 5.4.2 Poznámky, otázky a úkoly

### Příprava experimentu

- Jako vhodné polystyrenové nádoby se osvědčily tácky, na kterých se v obchodních řetězcích prodává chlazené maso. V našem případě byla použita nádobka s rozměry 18 cm × 13 cm × 2 cm.
- Destičky by měly být velikostí blízké větším dvěma rozměrům nádoby, přitom by měly být (v rámci chyby měření) stejné tloušťky.
- Polystyrenová destička, použitá ve vzorovém měření, se používá jako tácek pod balené krájené sýry.
- Skleněná destička, použitá ve vzorovém měření, se používá jako krycí sklo v rámečcích na fotografie 18 cm × 13 cm.
- Velký vliv na měření má způsob upevnění teplotního čidla na příslušnou destičku. Pro maximální kontakt měřicí pecičky s povrchem je vhodné použít dva zkřížené pruhy izolepy.

## Během měření

- Při výměně polystyrenové destičky za skleněnou se přesvědčte, že čidlo upevněné na dně nádoby se působením horké vody neodlepí.
- Aby bylo možné hodnoty naměřené jednou pro polystyren a podruhé pro sklo porovnat, je vhodné, aby výchozí teplota vody na začátku měření byla v obou případech co nejbližší. Toho lze docílit rychlým spuštěním měření ihned po nalití horké vody.
- Protože měření se systémem Vernier probíhá automatizovaně, není doba trvání měření ( $2 \times 10$  minut) ztraceným časem - je vhodné tuto dobu vyplnit výkladem či diskusí o tom, jak využíváme různé tepelné vodivosti materiálů v praxi - například v případě tepelných izolantů zmínit zateplování budov v rámci úspory energie (jak z ekonomických, tak z ekologických důvodů).
- Kromě skla a polystyrenu lze samozřejmě použít i další materiály, v případě použití kovu a polystyrenu je naměřený rozdíl ještě markantnější. Pozor pouze v případě kovů na to, že kovové destičky bývají výrazně tenčí než například použitá polystyrenová destička (tloušťka cca 2 mm), takže přirozená úvaha studentů může být taková, že větší množství tepla „propouští“ kovová destička ne proto, že je to vlastnost jejího materiálu, ale pouze proto, že je tenčí.
- U čidla ponořeného do vody zanedbáváme skutečnost, že v různých částech kapaliny (tj. u dna, při hladině...) může být její teplota různá. Opakovaným provedením měření při různých hloubkách ponoření čidla lze výraznější vliv této skutečnosti vyloučit, výsledky měření výrazně více závisí například na upevnění čidla ke krycí destičce.

## Po skončení měření

- Zejména při měření s polystyrenem může být voda v nádobce i po uplynutí deseti minut na konci měření velmi horká, proto s ní i nadále pracujte opatrně!

## Otázky a úkoly pro studenty

1. Snažte se studenty dovést k tomu, aby vlastními slovy shrnuli poznatky získané měřením.  
→ Očekávaná odpověď by měla zahrnovat zjištění, že oddělíme-li dvě prostředí různé teploty tepelným izolantem, bude se teplotní rozdíl nadále udržovat, zatímco bude-li oddělující „překážka“ z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí, budou mít teploty tendenci se vyrovnávat.
2. Je toto měření vhodné pro získávání rozumně přesných kvantitativních údajů? Argumentujte.  
→ Aby bylo měření dostatečně přesné, bylo by nutné zabránit tepelným ztrátám, ke kterým dochází na rozhraní nádoby a destiček - okraje nádoby nejsou zcela hladké a na styku s hladkou destičkou vznikají mezery, kterými se do okolí odevzdává teplo. (U skleněné destičky jsou ztráty menší, vlivem její větší hmotnosti destička lépe „přiléhá“.) Stejným způsobem se teplo ztrácí v místě, kde do nádoby vstupuje kabel bodového teplotního čidla.