

## Úloha III.E ... Termosvět

8 bodů; (chybí statistiky)



Andřejka se rozhodla, že místo sezení v teple domova půjde na procházku. Aby jí nebyla zima, vzala si ven termosku s čajem. Termoska ale neizolovala dobře, a tak měla Andřejka po chvílce skvělý nanuk.

Abyste nedopadli jako Andřejka, máte za úkol si sestavit svoji vlastní izolovanou nádobu. Jako základ by vám měl posloužit hrneček o objemu asi 3 dl. Tvar, materiál a zpracování izolace necháváme na vaší fantazii – povinnou součástí řešení je ale fotografie<sup>1</sup> vašeho přístroje.

To, jestli vaše termoska izoluje dobře, je možné jednoduše změřit. Do termosky nalejte horkou vodu známé teploty a hmotnosti. Následně termosku zavřete a dejte ven. Počkejte, dokud teplota vody výrazně neklesne. Tuto teplotu změřte. Poznamenejte si také čas chladnutí a průměrnou okolní teplotu. Všechny naměřené hodnoty následně zadejte do aplikace na stránce<sup>2</sup> Výfuku.

Po správném zadání všech hodnot vám stránka vypíše tzv. koeficient přechodu. Čím je tento koeficient menší, tím termoska lépe izoluje. Hodnotu vašeho koeficientu, stejně jako všechny naměřené hodnoty, nám pošlete spolu s výrobním postupem termosky.

Řešení s nejoriginálnější izolací a řešení s nejlépe izolující termoskou oceníme čokoládou.

Chladnutí nějakého predmetu je komplikovaný proces. Postupnou tepelnou výmenou sa bude zohrievať najskôr termoska, ktorá bude následne zohrievať vzduch tesne nad termoskou. Ako ale vieme, teplejší vzduch stúpa hore. Preto bude zohrievaný vzduch unikať a bude nahradzovaný studeným vonkajším vzduchom, čo sú spomínané tepelné straty.

Teplu vie unikať dvomi rôznymi spôsobmi. Po prvé, kontaktom rôzne teplých molekúl. Teplota molekúl je ale niečo, čo si nevieme ľahko predstaviť. V minulom ročníku v náučnom texte o ideálnom plyne<sup>3</sup> sme si povedali, že teplota molekúl plynu (a aj kvapaliny) súvisí s ich rýchlosťou. Podobne v pevnej látke je teplota vonkajším prejavom „trasenia“ molekúl v kryštálovej mriežke. Čím je materiál teplejší, tým viac sa molekuly trasú.<sup>4</sup> Pri tesnom kontakte dvoch látok s rôznou teplotou sa trasenie silovým pôsobením medzi molekulami postupne prenáša z teplejšej látky na chladnejšiu. Najskôr sa roztrasie (a zohreje) povrch chladnejšej látky, časom sa teplo rozšíri aj dovnútra objemu. Tento prechod energie bude prebiehať dovedy, dokedy sa všetky molekuly nebudú triasť rovnako, teplota látok sa teda vyrovná.

Druhý spôsob je fyzikálne jednoduchší a nazýva sa prenos tepla žiarením. Každá látka vyžaruje v závislosti na svojej teplote nejaké žiarenie. Napríklad ľudské telo žiari najmä v infračervenej oblasti, horúce hviezdy zasa žiaria vo viditeľnom a UV svetle.

Ako sa dá tomuto tepelnému prestupu zabrániť? Inšpirujme sa bežným životom a začnime hneď u nás doma v kuchyni. Pri pečení často zakrývame jedlo alobalom. Alobal sa totiž pre infračervené žiarenie správa ako zrkadlo, tj. väčšinu žiarenia, ktoré náš horúci čaj vyžiari, dokáže odraziť naspäť. Ideálne!

A čo straty tepla kontaktom? Povedali sme si, že teplo sa prenáša iba ak majú molekuly k sebe blízko. So vzájomnou vzdialenosťou molekúl toho veľa nenarobíme. Ak ale bude v kon-

<sup>1</sup>Fotografie můžete poslat i e-mailem na [vyfuk@fykos.cz](mailto:vyfuk@fykos.cz).

<sup>2</sup><http://fykos.cz/doc/michalcervenak/experiment/koeficient.php>

<sup>3</sup><http://vyfuk.fykos.cz/vyfuk/rocnik2/serie3.pdf>

<sup>4</sup>Ak by sme teplotu zvyšovali, molekuly by sa triasli až tak, že by sa povytrhávali z kryštálovej mriežky a materiál by sa roztopil.

takto menej molekúl, budeme strácať menej tepla a naša termoska bude účinnejšia. Hľadáme teda materiály s čo najmenšou hustotou, napríklad polystyrén (ktorý sa používa pri izolácii domov), korok alebo drevo.

Malú hustotu má tiež vzduch. Ak uzavrieme našu termosku vo väčšej nádobe tak, aby sa nádoby čo najmenej dotýkali, môžeme dosiahnuť celkom slušnú izoláciu. Na podobnom princípe funguje aj skutočná termoska. Akurát vzduch medzi nádobami je vyčerpaný a tepelný prenos sa deje prakticky iba v mieste, kde sú nádoby spojené.

Čo sa týka samotného merania, sme presvedčení, že vy ste vytvorili dostatok skvelých kandidátov. Preto my sme na porovnanie zmerali dva komerčné modely – malú termosku a termohrnček. Postupovali sme presne podľa postupu v zadaní a zmerali sme tieto hodnoty.

Tabulka 1: Namerané hodnoty

	$m/\text{kg}$	$S/\text{dm}^3$	$t/\text{s}$	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_z/^\circ\text{C}$	$T_k/^\circ\text{C}$
termoska	0,3	14	11 800	5	92	63
hrnček	0,3	11	2 600	5	93	60

Povrch predmetov sme nezmerali úplne presne, ale vypočítali sme ho približne pomocou vzorca pre plochu valca

$$S = 2\pi r (r + h) ,$$

kde  $r$  je polomer a  $h$  je výška valca.

Nakoniec sme v našej aplikácii vypočítali koeficient prechodu. Aplikácia akurát dosadila vložené hodnoty do vzťahu, ktorý vychádza z reálnych úvah a vzorcov pre zjednodušený model chladnutia, no na ich vyriešenie je potrebná vyššia matematika (ktorú sa časom určite naučíte). Dostali sme

$$k_{\text{termoska}} = 0,31 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} ,$$

$$k_{\text{hrnček}} = 2,06 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} .$$

Vidíme, že termoska izoluje naozaj výrazne, zatiaľ čo termohrnček uvoľňuje do okolia asi 7-násobne viac tepla.

Naše meranie bolo ale značne nepresné. Používali sme zjednodušenie na výpočet plochy termosky, teplota vody na začiatku naozaj rapidne klesala a meranie ovplyvňovala aj meniacia sa teplota okolia. Preto musíme tento výpočet považovať iba za také priblíženie sa realite.

### Hitparáda vašich výtvorov

Najčastejší izolačný materiál, ktorý ste používali, bol alobal. Nasledovali rôzne pórovité materiály, ako napríklad polystyrénové guľičky, izolačná pena a podobne. Tiež ste veľmi radi používali kusy oblečenia. Toto všetko bolo samozrejme *správne*. Všetko sú to materiály, ktoré sú na tepelné izolovanie priamo určené.

Čo sa týka sľubovaných odmiern, čokoládu za najlepšie izolujúcu nádobu získava *Paula Trembulaková* s hodnotou koeficientu  $0,4 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , ktorý dosiahla naozaj mocnou izoláciou pomocou vlneného svetra. V skutočnosti úplne najmenší *nameraný* koeficient dosiahol *Jan Trejbal*, ktorého hodnotu ale spochybňuje priveľké kolísanie okolitej teploty – Honza preto

získava menšiu cenu. Za najoriginálnejší nápad pri izolácii sme sa rozhodli odmeniť *Josefa Minaříka*, ktorý vyrobil špeciálnu kartónovo-polystyrénovú krabičku tak, aby sa nádoba s teplou vodou skoro vôbec nedotýkala tohto „trezoru“.

### *Poznámky k došlým řešením*

Keďže táto úloha bola konštrukčná, dôraz sme kládli na to, ako vyzerala vaša výsledná konštrukcia a ako veľmi ste jej dizajn premysleli. Oceňujeme, že viacerí ste sa veľmi pekne vysporiadali s detailami, ako napríklad dôsledné tesnenie medzi termoskou a vekom.

Na druhej strane, v niektorých riešeniach nám dôslednosť chýbala. Plný počet ste nedostali, ak vaša konštrukcia spočívala v jednoduchom obmotaní hrnčeku nejakou látkou, pričom ste sa vôbec nezamysleli, čo tepelné straty vlastne spôsobuje.

Viacerí z vás ste mali problém s určením povrchu vašej termosky. Zamyslime sa teda, prečo je plocha vlastne pri počítaní tepelných strát dôležitejšia. No predsa – čím väčšiu plochu má termoska, tým viac molekúl studeného vzduchu ju obklopuje. Preto plocha, ktorú bolo vhodnejšie do vzorca na stránke zadať, bola plocha celej termosky, nielen vnútorného hrnčeku. V opačnom prípade bol váš koeficient niekoľkokrát väčší, pretože neodrážal to, ako veľmi sa termoska bráni stratám tepla do okolia, ale ako veľmi odoberá samotný izolačný materiál teplo hrnčeku.

Úplne na koniec by sme chceli pochváliť všetkých, ktorí do svojich modelov zahrnuli aj funkčnú stránku termosky a navrhli také nádoby, z ktorých sa takmer okamžite dá teplý čaj piť.

*Patrik Švančara*

patrik@vyfuk.mff.cuni.cz

---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.