

Trocha fyziky z Malé Hraštic (i odjinud, převážně na téma infračervené záření)

Leoš Dvořák
Katedra didaktiky fyziky, MFF UK Praha
leos.dvorak@mff.cuni.cz

Příspěvek se týká několika pokusů souvisejících s infračerveným zářením. Pokusy byly vyvinuty nebo inspirovány „miniprojekty“ na soustředění pro budoucí (i současné) učitele fyziky v Malé Hrašticí a na semináři „Heuréky pro šťoury“, který je součástí projektu Heuréka.

Úvod

O soustředění budoucích učitelů fyziky na Malé Hrašticí jsem již informoval víckrát, viz např. [1], [2], takže jen stručně. Jde o čtyř- až pětidenní soustředění, které konáme každoročně začátkem května. Hlavním cílem je vyzkoušet si, že fyzika funguje i mimo školu a laboratoř, na louce, v lese, v místech, které mají daleko do luxusu, ale kde je přitom krásně. Vždy vyhlásíme jedno hlavní téma, řadu nápadů na malé „miniprojekty“ a každý si pak sám či ve skupinkách zkusí, co dokáže vytvořit, naměřit, udělat... Každý den si pak předvedeme, co kdo udělal a k čemu došel. Účastníků bývá patnáct až třicet, od studentů prvního ročníku po doktorandy; v posledních letech každoročně i několik málo učitelů ze škol. (Chcete-li si to vyzkoušet, přijďte!)

Semináře „Heuréka pro šťoury“ se konají jednou až dvakrát ročně, zatím vždy v Praze. Sejde se nás obvykle menší skupinka, do deseti lidí. Seminář bývá od pátku večer do neděle dopoledne, ale lze přijet třeba jen na sobotu. Cílem je „zavrtat si“ do nějakého kousku fyziky, který má souvislost se školní výukou, vyzkoušet si nápady jak upravit nebo předělat některé experimenty, zkusit „co se stane když“. Jestliže uvedu, že k pravidelným účastníkům „šťouravé Heuréky“ patří Zdeněk Polák, Václav Pazdera či Standa Gottwald, není asi nutno k charakteru těchto seminářů dodávat víc. Opět jde o akci otevřenou i pro další zájemce.

Soustředění na téma „Tepló“ proběhlo na Malé Hrašticí již před několika léty (viz [1]), seminář „Heuréky pro šťoury“, kde jsme trochu experimentovali s infračerveným zářením (dále ho často budu označovat jen jako IR) byl na jaře 2011. Dále uvedené náměty pocházejí z těchto akcí, případně vznikly „dotažením“ některých nápadů.

V naprosté většině případů nejde o nápady či pokusy zcela původní. O experimentech s IR zářením toho již bylo publikováno dost na Veletrhu nápadů učitelů fyziky i jinde, viz [3-6]. Lze ještě dodat vůbec něco nového? Přesto se najdou varianty pokusů, které nemusí být běžně známé či užívané a mohou být pro výuku fyziky vhodnou inspirací. V následujícím textu se soustředíme na pokusy jednodušší, většinou spíše kvalitativní, které by mohly být využitelné na základní škole.

Hrajeme si s IR teploměrem

Teploměry měřící teplotu povrchu bezdotykově, pomocí infračerveného záření, které povrch vyzařuje, začínají být součástí běžného života. Čím dál více se asi budeme setkávat s bezdotykovými teploměry pro měření teploty lidského těla, ač je v tomto případě měření zřejmě o dost méně přesné než pomocí klasického rtuťového lékařského teploměru. Je tedy asi vhodné seznámit se s tímto bezdotykovým měřením i ve školních hodinách fyziky – a případně ho využít pro pokusy a demonstrace.

Uvádět zde nabídku IR teploměrů na trhu nemá smysl, protože se rychle mění. (Levný typ, který jsem užíval ve Vlachovicích, už zřejmě není k dostání, zato jsou jiné.) Pro představu stačí zadat do Googlu „bezdotykové teploměry“ nebo „infra teploměry“. Ceny začínají někde od sedmi set korun (pro lékařské bezdotykové teploměry ještě podstatně níže) a pro lepší typy teploměrů dosahují několika tisíc; u profesionálních průmyslových přístrojů může jít cena do desítek tisíc. Pro základní pokusy však vystačíme i s levnými typy.

Zcela základní princip činnosti IR teploměrů je jasný: teploměr přijímá a vyhodnocuje infračervené záření vydávané předměty. Podrobnostmi se zde nebudeme zabývat, přehledná i podrobnější vysvětlení lze najít na internetu, viz např. [7-9]. Pojd'me se raději podívat na některé běžné i poněkud překvapivé pokusy.

Běžné měření teploty

Běžné měření teploty je jasné. Namíříme teploměr na místo, jehož teplotu chceme měřit, a stiskneme „spoušť“. Pozor ale na to, v jak širokém kuželu teploměr měří. A pozor na to, že sice ukazuje údaj na desetiny stupně, ale přesnost měření může být často třeba jen ± 2 °C. (U lékařských teploměrů se uvádí lepší, ale stejně...) Navíc, jak uvidíme dále, někdy můžeme být údaji docela překvapeni.

Jaká je teplota (modré) oblohy?

Namíříme-li teploměr na bezmračnou oblohu, zjistíme, že ukazuje teplotu mezi zhruba -24 až -30 °C. Podobný údaj je uveden také ve známé učebnici [10]. Jde zřejmě o teplotu vyšších vrstev atmosféry, z nichž k nám přichází infračervené záření o vlnových délkách registrovaných IR teploměrem (tedy o vlnových délkách kolem deseti mikrometrů). Namíříme-li teploměr na mraky, ukáže teplotu výrazně vyšší.

Kdy nás IR teploměr oklame...

Infračervený teploměr dá nesprávný údaj, namíříme-li ho například na lesklý kovový povrch. Zkuste například lesklý nůž či lžici zahřát ve vařící vodě, otřít do sucha a namířit na jejich povrch IR teploměr. Bude ukazovat přibližně teplotu okolí – protože infračervené záření se na lesklém povrchu odráží, samotný kov na daných vlnových délkách vyzařuje jen velmi „neochotně“. (U dražších teploměrů lze nastavit emisivitu příslušného povrchu, levnější teploměry ji mívají pevně nastavenou na hodnotu 0,95. Na lesklých kovových površích však nejspíš neuspějeme ani s drahými teploměry.)

Podobně můžeme lesklý kovový předmět ochladit v mrazničce, bezdotykový teploměr opět neukáže jeho správnou teplotu. (Pozor ale, aby se daný předmět neorosil, pak bychom asi spíš měřili teplotu vody na něm.)

Odrážíme IR záření

Rovná lesklá kovová plocha odráží infračervené záření podobně jako světlo. Vypneme-li kus alobalu (například na nějaký rámeček nebo prostě na kus tvrdé čtvrtky), můžeme demonstrovat, že se tepelné (tedy infračervené) záření, například z naší dlaně, odráží. IR teploměr bude mířit šikmo do alobalu a bude přitom registrovat teplotu naší dlaně.

Zaměřujeme zdroj tepla

Při uvedených pokusech musíme mít na paměti, že IR teploměr registruje záření z určitého kužele. To, jak je tento kužel široký či úzký, bývá vyjádřeno poměrem šířky tohoto

kužele ke vzdálenosti od teploměru; na teploměru to bývá napsáno. Levnější přístroje mohou mít tento poměr například 1:8 (to znamená, že ve vzdálenosti 80 cm registruje přístroj záření z plošky o průměru 10 cm) i více, např. 1:5. U dražších přístrojů je kužel užší, třeba 1:50.

Orientačně si můžeme ověřit šířku tohoto kužele jednoduchým pokusem. Budeme při něm „zaměřovat“ nějaký teplý předmět, například nádobu s horkou vodou (ale takovou, která nemá lesklý kovový povrch). Teploměrem ve vzdálenosti např. 1 metr otáčíme ze strany na stranu a sledujeme jeho údaj. Nemáme-li nádobu s horkou vodou, můžeme využít například dlaň nebo hlavu nějaké osoby. Za ní ovšem musí být chladnější pozadí, takže není dobré provádět tento pokus před sluncem rozpálenou zdí nebo třeba v sauně.

Ovlivní infračervená LED údaj teploměru?

Protože máme infračervený teploměr a také infračervenou svítivou diodu (LED), mohl by se objevit přirozený dotaz, zda infračervená LED může ovlivnit údaj daného teploměru. Posvítíme-li s ní do teploměru, neukáže vyšší teplotu?

Jednoduchým pokusem zjistíme, že nikoli. Důvodem je skutečnost, že IR LED vyzařují na jiných vlnových délkách (pod 1 μm), než jaké registruje IR teploměr (bývají uváděny vlnové délky od asi 7 μm).

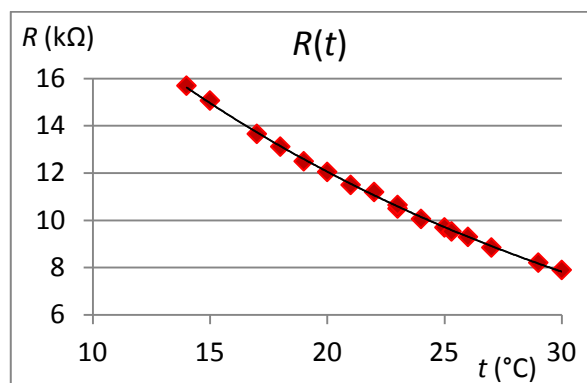
Detektor tepelného záření za pár korun

Infračervený teploměr je hezká, ale přece jen ne úplně nejlacinější „hračka“. Sotva jich ve škole budeme mít tolik, aby připadal třeba jeden teploměr na dva žáky. Nemohli bychom infračervené záření, konkrétně záření teplých a horkých předmětů, detekovat nějak levněji?

Nechceme-li měřit teplotu vzdálených povrchů, opravdu to levněji jde. Máme-li alespoň nejlevnější multimetry schopné měřit odpor, můžeme si vyrobit jednoduchý detektor opravdu za pár korun. Nebude sice příliš citlivý, ale pro několik základních zajímavých pokusů poslouží docela dobře.

Konstrukce detektoru

Základem našeho detektoru bude termistor, tedy součástka, jejíž odpor se mění s teplotou. Pokles odporu s teplotou je docela výrazný, jak ukazuje graf z hodnot naměřených na termistoru s nominální hodnotou 10 k Ω , viz obr. 1.

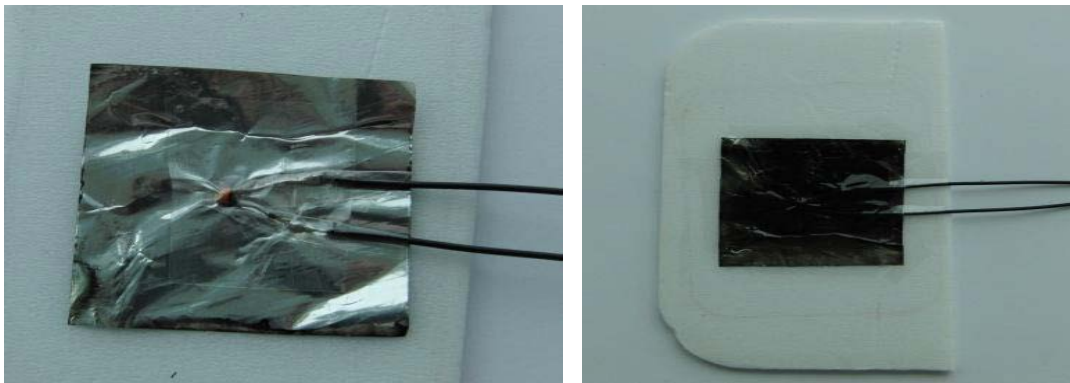


Obr. 1. Perličkový termistor 10 k Ω a změřená závislost jeho odporu na teplotě

Použijeme nejmenší typ termistoru (aby měl malou tepelnou kapacitu) s průměrem 3,5 mm. Můžeme si vybrat z mnoha dostupných hodnot odporu. Rozumně vyhovuje

například termistor s odporem $10\text{ k}\Omega$ (při $25\text{ }^\circ\text{C}$). Jak vidíme z grafu, při vzestupu teploty o $5\text{ }^\circ\text{C}$ poklesne odpor asi o $2\text{ k}\Omega$. Změně teploty o jeden stupeň Celsia tedy odpovídá změna odporu o asi $400\ \Omega$. (Pokles není lineární, ale pro naše přibližné úvahy jej za lineární můžeme považovat.) Multimetr na rozsahu $20\text{ k}\Omega$, na němž měříme, rozliší změnu odporu o $10\ \Omega$. To odpovídá změně teploty o asi $0,025\text{ }^\circ\text{C}$! Což vůbec není špatné. (Poznamenejme, že ještě vyšší citlivost bychom mohli dosáhnout v můstkovém zapojení, ale zde nám jde o co nejjednodušší a nejnázornější konstrukci.)

Samotný termistor má malou plochu, a tak ho infračervené záření příliš nezahřeje. Potřebujeme ho spojit s nějakou plochou, která by dobře přijímala IR záření, rychle se jeho působením zahřála a od ní se pak zahřál termistor. Má-li přivést teplo k termistoru, bude zřejmě vhodné, aby ploška byla kovová. Nesmí ale být příliš tlustá, to by se zahřívala dlouho. Vyhoví kousek alobalu, například o rozměrech $5\text{ x }5\text{ cm}$, z jedné strany začerněný, např. nastříkaný černou matovou barvou ve spreji. Z druhé strany na něj izolopou nalepíme termistor, na jehož vývody jsme předem připájeli přívodní kablíky. (Místo pájení by asi stačilo kablíky s vývodem termistoru jen zkroutit. Pozor, přívodní kablíky nebo drát by neměl být moc silný, aby neodváděl příliš tepla.) Aby byly termistor a nezachněná strana alobalu tepelně izolovány od okolí, můžeme je nalepit na kousek polystyrénu, například na kousek „platička“, na němž v obchodech dávají krájené sýry. (stačí izolopou oblepit okraje alobalu). Celou konstrukci ukazuje obr. 2.



Obr. 2. Konstrukce detektoru tepelného záření: termistor přilepený na alobal, lesklou stranou položený na kousek polystyrénu; vnější strana alobalu je začerněna.

Přívodní kablíky připojíme k multimetru nastavenému na měření odporu (rozsah do $20\text{ k}\Omega$). Zahřeje-li se alobal, ať už dotykem nebo proto, že na něj dopadá záření, multimetr ukáže pokles odporu.

Drobnou nevýhodou je skutečnost, že mezi jednotlivými pokusy či demonstracemi musíme nechat alobal zase vychladnout (nebo se jej dotkneme nějakým kovovým předmětem, který má teplotu místnosti). Nemůžeme tedy naším detektorem rychle mířit do různých směrů, jak jsme to dělali s IR teploměrem.

Detekujeme záření z různých zdrojů

Zkusme teď naším detektorem namířit na různé zdroje záření.

Slunce

Zde bude nárůst teploty (a tedy pokles odporu) velmi rychlý. Pokus bychom mohli využít i k diskusi o tom, zda má smysl mluvit v létě o „teplotě ve stínu“ (ano, fakticky půjde o teplotu vzduchu) a o „teplotě na sluníčku“ (ne, záleží na tom, jak se který předmět rozpálí). Mohli bychom také náš detektor různě zastiňovat, například „záchrannou

fólií“ (má být součástí autolékárničky, v některých lékárnách ji lze zakoupit pod názvem „izotermická příkrývka“) a sledovat, že teplota narůstá podstatně pomaleji.

Stolní lampa

Podobně jako u Slunce, nárůst teploty může být rychlý. Záleží na vzdálenosti a na příkonu žárovky.

Jak v případě Slunce, tak v případě lampy je ovšem kromě infračerveného přítomno i viditelné světlo. Jak žáky přesvědčit, že se náš alobal nezahřívá jen světlem? Bud' pomocí vhodného infračerveného filtru, nebo následujícím pokusem.

Baterka se žárovkou, baterka s LED

Na náš detektor namíříme z malé vzdálenosti (například 10 cm) baterku se žárovkou a sledujeme, jak rychle roste teplota, resp. jak rychle klesá odpor. Necháme alobal zase vychladnout na pokojovou teplotu (odpor se tedy vrátí na výchozí hodnotu) a namíříme na alobal baterku se svítivými diodami (LED) – tak, aby na detektor dopadalo zhruba stejně světla jako v předchozím pokusu. Potřebnou vzdálenost předem vyzkoušíme svícením třeba na bílý papír. Porovnání osvětlení je sice poněkud subjektivní, ale pro náš pokus nepotřebujeme přesně stejné hodnoty.

Je-li detektor osvětlován baterkou s LED, teplota sice také stoupá (tedy údaj na multimetru klesá), ale podstatně pomaleji než při nasvícení baterkou se žárovkou.

Pokus můžeme využít k diskusi o úspornosti různých zdrojů světla.

Plechovky s horkou vodou (lesklý x začerněný povrch)

Položíme náš detektor na vodorovnou desku stolu (alobalem nahoru) a několik centimetrů nad něj dáme plechovku s horkou vodou. Má-li plechovka lesklé dno, příliš teplotu alobalu neovlivňuje. Pokud použijeme plechovku, jejíž dno bylo nastříkáno matným černým lakem, začne teplota alobalu stoupat.

Při tomto pokusu nejde o šíření tepla prouděním. Právě proto umístíme plechovku nad detektor, aby vzduch, který se od ní ohřívá, stoupal vzhůru a nemohl zahřívát alobal. Při tomto pokusu není vyzařující těleso nijak enormně horké; jeho teplota nepřesahuje 100 °C, rozhodně tedy není rozpálené do červeného žáru. Přesto náš detektor ukazuje, že z něj záření vychází. (Co jiného by alobal našeho detektoru zahřálo?)

Vlastní dlaně nebo čelo

V tomto pokusu bude teplota „zářiče“ ještě nižší. Vyzařujícím tělesem budeme my sami, například naše dlaně, nebo (máme-li studené ruce, ale zahřátou hlavu) třeba naše čelo. Dlaň i detektor umístíme svisle (abychom vyloučili přenos tepla prouděním), dva až tři centimetry od sebe. Multimetr ukáže, že odpor termistoru pomalu, ale prokazatelně klesá. Alobal je zahříván infračerveným zářením z naší dlaně či z našeho čela.

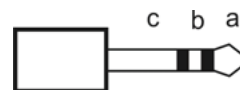
Poznamenejme, že tento pokus bude asi průkaznější v chladnější místnosti; ve třídě rozpálené na třicet a více stupňů nebude rozdíl mezi vyzařováním člověka a okolních předmětů tak výrazný, aby to náš jednoduchý detektor zaznamenal.

Infračervená LED a fototranzistor

Zde už jen velmi stručně. Infračervená LED vyzařuje v blízké infračervené oblasti, na vlnových délkách okolo 900 resp. 950 nm. Její záření nevidíme očima, ale vidí ho levnější fotoaparáty, fotoaparáty v mobilech, video- či webkamery. (Dražší přístroje by ho

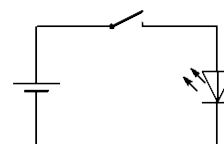
viděly také, ale mívají v sobě filtr, který IR složku záření potlačí.) IR LED lze koupit v prodejnách elektronických součástek za pár korun, není problém pokus vyzkoušet. Kdo nechce kupovat příslušnou součástku, může využít dálkový ovladač, v něm právě infračervená LED vysílá povely pro televizor (či co zrovna ovládáte).

Dané záření lze detekovat fototranzistorem. (Typ IRE5, nyní u GM Electronic označovaný jako LTR-3208, stojí necelých pět korun.) Lze jej připojit přímo ke vstupu zvukové karty počítače místo mikrofону, jak bylo posáno v [11]. Fototranzistor je z tohoto vstupu přímo napájen, jen je potřeba vyzkoušet správnou polaritu. V přívodech ke konektoru s průměrem 3,5 mm (obvykle nazývaného „jack“), který budeme zasouvat do mikrofonního vstupu, spojíme vývody označené na obrázku jako „a“ a „b“.



Namíříme-li fototranzistor například na zářivku, uslyšíme z reproduktoru počítače (máme-li zapnutý „příposlech“) zvuk s frekvencí 100 Hz, který bychom mohli označit jako „vrčení“.

Fototranzistorem můžeme přijímat záření vydávané IR LED, jak je popsáno např. v [6]. Pro úplně nejjednodušší demonstraci však stačí LED prostě zapínat a vypínat; z reproduktoru počítače pak slyšíme „cvakání“. (Samozřejmě, pokud je IR LED namířena na „příjímač“, tedy na daný fototranzistor.) Jestliže proud přerušujeme rychle, např. jezdíme kontaktem po „hřebínku“ ze střídavě vodivých a nevodivých materiálů, slyšíme z reproduktoru počítače „drnčení“.



Závěr

Výše uvedené pokusy nejsou žádnou „metodickou sekvencí“, která by se měla zařazovat do výuky tak, jak zde bylo popsáno. Jde spíše o náměty na zajímavé zpestření výuky, jednoduché projekty, demonstrace v rámci projektových dnů a podobných aktivit. Záměrně zde byly představeny pokusy a přístroje co nejjednodušší. Na úrovni střední, a tím spíše vysoké školy by bylo možno řadu z nich zdokonalit a přidat k nim podrobnější výklad či diskusi. Mnohé pokusy možná bude vhodné dále propracovat či upravit i na úrovni ZŠ. Berte tedy prosím tento text zejména jako inspirační zdroj – a třeba se spolu s infračerveným zářením u těchto a podobných pokusů ještě potkáme.

Poděkování

Vývoj pokusů zde popsaných byl inspirován zejména setkáváním s mnoha lidmi v rámci projektu Heuréka a podobných aktivit. Sluší se proto uvést, že byl podpořen rozvoje výuky projekty MŠMT; v roce 2011 šlo o projekt č.14/20 „Podpora spolupráce Univerzity Karlovy v Praze se středními školami“.

Za zajímavé a inspirativní diskuse děkuji mimo jiné účastníkům seminářů „Heuréky pro štůry“, zejména Zdeňkovi Polákovi, Standovi Gottwaldovi a Václavu Pazderovi, ale i dalším. Námět na pokus s měřením teploty zahřátých a zchlazených kovových příborů infračerveným teploměrem byl nápadem Martina Jacka.

Literatura a další zdroje

- [1] DVOŘÁK, L.: *Pokusy na Malé Hrašticí – tentokrát s teplem*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 13, Plzeň, srpen 2008. Ed. K. Rauner, Západočeská Univerzita v Plzni, s. 63-67
- [2] DVOŘÁK, L.: *Fyzikální miniprojekty na jarních soustředěních pro budoucí učitele fyziky*. In: 50 let didaktiky fyziky v ČR. Sborník z konference. Brno, 13.-14.9.2007. Ed.: O.Lepil. Univerzita Palackého, Olomouc 2007, s.80-87.

- [3] BOCHNÍČEK Z.: *Amatérská videokamera jako detektor infračerveného záření*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 10. Ed Dvořák L. Prometheus, Praha 2005. s. 38-42.
- [4] BOCHNÍČEK, Z., STRUMIENSKÝ, J.: *Pokusy s termocitlivými fóliemi*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 12, Praha, srpen 2007. Ed. L. Dvořák. Prometheus, Praha, 2007. s. 16-20.
- [5] POLÁK, Z.: *Náměty na pokusy s infračerveným zářením*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 15, Praha, srpen 2010. Ed. Z. Drozd. Prometheus, Praha, 2010. s. 181-185.
- [6] POLÁK, Z.: *Infračervené záření*. In: Dílny Heuréky 2009-2010. Sborník konferencí projektu Heuréka. Ed. L. Dvořák, I. Dvořáková, V. Koudelková. Prometheus, Praha, 2011. s. 267-283.
- [7] HUŠEK, M.: Princip bezdotykového měření teploty.
<http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm> (cit. 24. 10. 2011)
- [8] http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt_fpbt/laboratore/Bezdotykove_tplomery.pdf (cit. 24. 10. 2011)
- [9] BARRON, W.R.: Principles of Infrared Thermometry.
<http://www.omega.com/temperature/z/pdf/z059-062.pdf> (cit. 24. 10. 2011)
- [10] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J.: *Fyzika*. Český překlad Prometheus, Praha, VUTIM, Brno, 2000.
- [11] DVOŘÁK, L.: *Pokusy se zvukovou kartou*. In: Dílny Heuréky 2005. Sborník konference projektu Heuréka, Náchod, září 2005. Ed. L. Dvořák. Prometheus, Praha 2006. s. 39-48.