ŠKOLSKÁ FYZIKA

praktický časopis pro výuku fyziky



1

2013

Ročník X. **Číslo 1/2013**

Praktický časopis pro výuku fyziky a práci s talentovanými žáky na základních a středních školách

Vydává: Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy Fakulty pedagogické Západočeské univerzity v Plzni ve spolupráci s ústřední komisí FO, dalšími fakultami připravujícími učitele fyziky a Českou nukleární společností pod patronací Jednoty českých matematiků a fyziků

Šéfredaktor: Karel Rauner (rauner@kmt.zcu.cz)

Výkonný redaktor: Miroslav Randa (randam@kmt.zcu.cz)

Redakční rada: Irena Dvořáková, Josef Kepka, Václav Kohout, Aleš Lacina, Miroslav Randa, Karel Rauner, Milan Rojko, Ivo Volf.

Adresa redakce: Školská fyzika, KMT FPE ZČU, Klatovská 51, 306 14 Plzeň,
Telefon: 377 636 303

Vychází: čtyřikrát ročně

Předplatné: zdarma

URL (Internet): http://sf.zcu.cz/

Evidováno: u Ministerstva kultury ČR pod číslem MK ČR E 11868

ISSN 1211-1511

Toto číslo vyšlo 14. května 2013.

Obsah

Juraj Slabeycius
Ako veľryby telefonujú – fyzikálna akustika netradične II. 1

Miroslav Randa
Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 6 6

Ivo Volf, Pavel Kabrhel
Proč už nemusejí žáci základní školy nastupovat do jedoucího vlaku 9

Karel Rauner
Jak pohnout zeměkoulí 19

Václav Meškan
Inspired in India – reportáž z cest 23

Michal Žák
O předpovědi počasí 29

Václav Kohout
Základy teorie barev II. 35

Zuzana Suková
Kdyby gepard vyrazil coby prašelma, už by dorazil na Proximu Centauri II. 43

Václav Kohout
Exkurze do Seismické observatoře Kašperské Hory 47

Ako veľryby telefonujú – fyzikálna akustika netradične II.

Juraj Slabeycius[1], Pedagogická fakulta Katolíckej univerzity v Ružomberku

Článek přetiskujeme ze sborníku Národného festivalu fyziky 2011 ***Tvorivý učiteľ fyziky IV****, http://sfs.sav.sk/smolenice/index.htm, který se konal ve Smolenicích 12. – 15. 4. 2011. Ve sborníku se originál článku nachází na stranách 205–215[2]. V tomto čísle časopisu Školská fyzika naleznete dokončení článku, první část vyšla v čísle předchozím.*

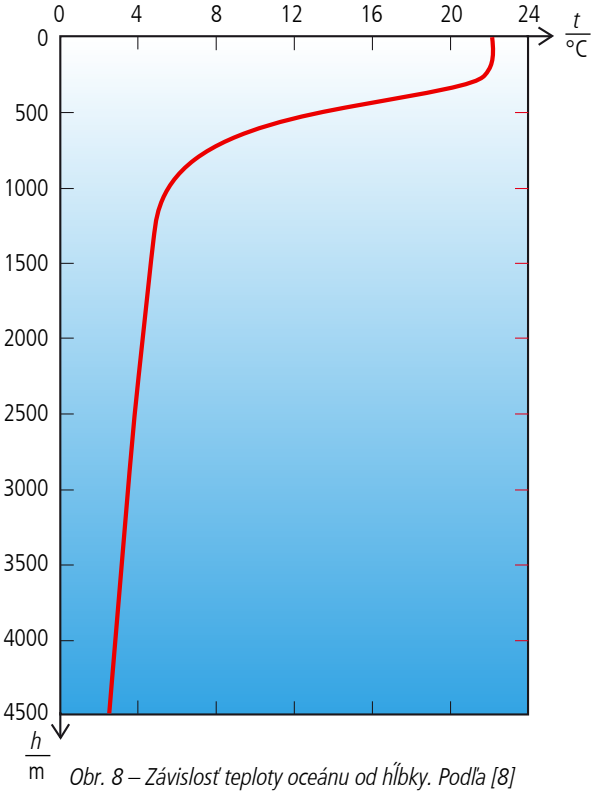
7 Akustika morí a oceánov

Venujme sa teraz šíreniu zvuku v kvapalnom prostredí. Je to predmetom skúmania akustiky morí a oceánov, často nazývanej aj hydroakustikou. Zvuk sa šíri v kvapaline rýchlosťou

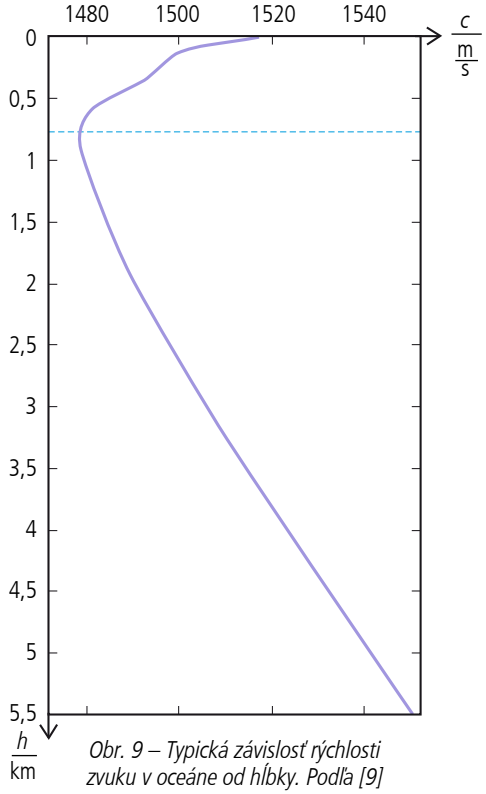
$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}},$$

kde K je modul objemovej pružnosti kvapaliny a ρ je jej hustota [1]. Obe veličiny závisia od teploty, tlaku a chemického zloženia danej kvapaliny. V prípade morí a oceánov od množstva rozpustených solí, tzv. salinity vody. Pri normálnych podmienkach je rýchlosť zvuku v slanej vode okolo 1 450 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, v sladkej 1 500 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ [7].

Teplota vody v jazerách, resp. v moriach a oceánoch, je vo veľkých hĺbkach prakticky stála a má hodnotu okolo 4 °C v sladkej vode, resp. 3 °C v slanej vode. Na povrchu teplota závisí od zemepisnej šírky a ročnej doby, napríklad v Perzskom zálive až 36 °C, zatiaľ čo v polárnych oblastiach len –2 °C. Typický priebeh teploty vody v oceáne ukazuje obr. 8. V hĺbke niekoľko sto metrov dochádza k prudkému poklesu teploty vody (teplotný skok, tzv. thermocline) a ďalej do hĺbky teplota rovnomerne pomaly klesá. Salinita vody sa z hĺbkou prakticky nemení, výrazné rozdiely sú len v zálivoch, kam ústia mohutné rieky – povrchové vrstvy sú sladké, pod nimi je vrstva slanej morskej vody. Tlak v oceáne rastie rovnomerne s hĺbkou podľa vzťahu $p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$.



Obr. 8 – Závislosť teploty oceánu od hĺbky. Podľa [8]



Obr. 9 – Typická závislosť rýchlosti zvuku v oceáne od hĺbky. Podľa [9]

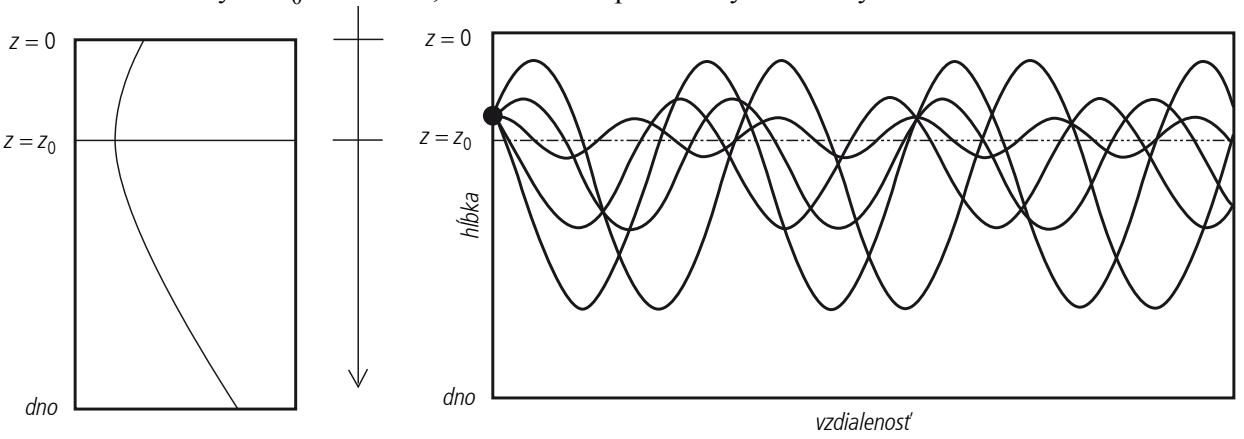
1 *juraj.slabeycius@ku.sk*

2 *http://sfs.sav.sk/smolenice/pdf_11/30_Slabeycius.pdf*

Vplyv jednotlivých parametrov prostredia na rýchlosť zvuku vo vode vedie k typickému priebehu závislosti rýchlosti od hĺbky (obr. 9). Rýchlosť má v istej hĺbke minimum. Pri vhodných meteorologických podmienkach možno pozorovať iný typ závislosti – rýchlosť zvuku od hladiny najprv rastie, v hĺbke niekoľko desiatok metrov má maximum, potom klesá k minimu v hĺbke niekoľko sto metrov a smerom ku dnu monotónne rastie.

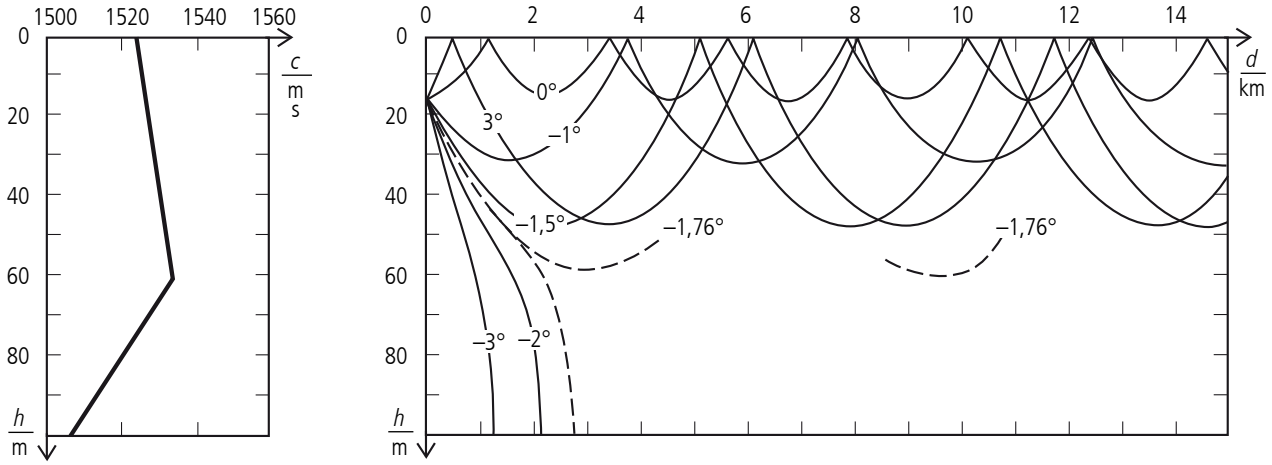
8 Šírenie zvuku v oceáne

Vyšetrime teraz šírenie zvuku v oceáne. Predpokladajme závislosť rýchlosti zvuku v oceáne od hĺbky podľa obr. 10. Súradnica z je orientovaná kolmo dole, pričom hodnote $z = 0$ zodpovedá hladina oceánu. V oblasti $0 < z < z_0$ rýchlosť zvuku klesá, v hĺbke $z = z_0$ nadobúda minimum a v oblasti $z > z_0$ stúpa. Zvukové lúče vychádzajúce zo zdroja pod morskou hladinou sa budú odkláňať na stranu menšej rýchlosti zvuku, t.j. v oblasti $0 < z < z_0$ budú zakrivené nadol, v oblasti $z > z_0$ sa zakrivia nahor (obr. 10). Výsledkom je, že sa zvuk s podvodného zdroja šíri len v úzkej oblasti okolo roviny $z = z_0$. Hovoríme, že zvuk sa šíri podmorským zvukovým kanálom.



Obr. 10 – Hlbokovodný zvukový kanál. Podľa [10]

Pomerne jednoducho sa dá spočítať, aký maximálny uhol s vodorovnou rovinou môže zvierať zvukový lúč, aby nedopadol na hladinu oceánu, resp. aký maximálny záporný uhol, aby sa nepohltil na dne. Všetky lúče, ktoré vychádzajú zo zdroja v tomto intervale uhlov, budú oscilovať okolo osi zvukového kanála a intenzita zvuku v takomto kanáli bude klesať nepriamo úmerne vzdialenosti od zdroja, to znamená, že bude slabnúť podstatne pomalšie, ako keby sa zvuk šíril do celého priestoru. Napr. vo vzdialenosti 1 000 km od zdroja bude zvuk 1 000 krát slabší, ako vo vzdialenosti 1 km, zatiaľ čo pri šírení zvuku do všetkých smerov (sférická vlna) by bol zvuk vo vzdialenosti 1 000 km zoslabený miliónnásobne. Hlbokovodný zvukový kanál v oceáne objavili nezávisle na sebe Leonid Brechovskich a Maurice Ewing [11].



Obr. 11 – Povrchový zvukový kanál. Podľa [10]

Ďalším dôležitým prípadom je situácia, keď v podpovrchovej vrstve rýchlosť zvuku s hĺbkou rastie (obr. 11). Na obrázku je zobrazený prípad, keď rýchlosť zvuku dosahuje maximálnu hodnotu v hĺbke 60 m, nad touto výškou sa zvukové lúče ohýbajú nahor a odrážajú sa od vodnej hladiny späť do oceánu. Pre zdroj v hĺbke 30 m sú vypočítané trajektórie lúčov s počiatočným sklonom k povrchu oceánu 3 °, 0 °, –1 °, –1,5 °, –2 ° a –3 °. Mierka obrázku vo zvislom a vodorovnom smere je rôzna, skutočné trajektórie lúčov sú oveľa plytšie. Napr. lúč vychádzajúci vodorovne zo zdroja sa odráža od hladiny mora každých 2 250 m, klesá do hĺbky 30 m. Lúč s počiatočným sklonom –1,76 ° je hraničným lúčom, pri svojom postupe sa dotýka roviny $z = -60$ m. Lúče s väčšou zápornou odchýlkou prejdú do oblasti opačného gradientu rýchlosti a zakrivia sa nadol, kde sa pohltia na morskom dne. Podrobnejšie sa s teóriou šírenia zvuku v oceáne čitateľ môže oboznámiť v knihe [12].

9 Dorozumievanie veľrýb

Veľryby, podobne ako delfíny, sú veľmi spoločenské zvieratá. Pretože v hĺbke je málo svetla, veľryby majú slabo vyvinutý zrak. Ich hlavným zmyslom je sluch. Navzájom sa dorozumievajú celou škálou zvukov od počuteľných až po ultrazvuk. Už v roku 1971 bola publikovaná práca [13], v ktorej sa upozorňuje na možnosť, že veľryby používajú podvodný zvukový kanál pre komunikáciu na veľké vzdialenosti, na stovky až tisíce kilometrov. Od tých čias túto hypotézu potvrdili mnohé výskumy. Niekedy používajú povrchový zvukový kanál, ale oblasti v oceáne, kde sú priaznivé podmienky pre existenciu takéhoto kanálu, sa nevyskytujú príliš často. Obvykle veľryby používajú na komunikáciu hlbokovodný zvukový kanál, pričom nie je nutné, aby sa ponorili až do hĺbky osi kanála. Častejšie však komunikujú priamo medzi sebou na vzdialenosť stoviek metrov až niekoľkých kilometrov.

Aj keď veľryby patria medzi cicavce, dokážu sa ponárať na dlhý čas do veľkých hĺbok. Rekordérom je vorvaň tuponosý, ktorý sa dokáže ponoriť do hĺbky viac ako 2 km a vydrží pod vodou až 2 hodiny. Jeho hmotnosť je okolo 50 ton, dĺžka 16–18 m (rekord 28 m, 150 ton). Dožije až 80 rokov. Zvuky, ktoré vydáva, sa podobajú na krátke ťuknutie, ktoré využíva na echolokáciu, podobne ako netopier. Dlhšie série pukotania slúžia pravdepodobne na komunikáciu. Ďalším druhom veľryby je vráskavec dlhoplutvý. Má dĺžku 12–16 m, hmotnosť 25–36 ton. Migruje ročne až 26 tisíc km, dosahuje rýchlosť 50 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Je schopný sa ponoriť do hĺbky 200 m na pol hodiny. Zvuky, ktoré vydáva, sa podobajú ľudskej hudbe, preto sú známe ako veľrybí spev. Najväčším žijúcim tvorom na zemeguli je vráskavec obrovský, ktorého priemerná dĺžka je 30 m a hmotnosť 180 ton. Jeho spev je v rozmedzí frekvencií 10–40 Hz.



Obr. 12 – Vráskavec dlhoplutvý (česky plejtvák dlouhoploutvý)[3]



Obr. 13 – Vorvaň tuponosý (česky vorvaň obrovský)[4]

3 *http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Humpback_stellwagen_edit.jpg, obrázek doplněn redakcí*

4 *http://img534.imageshack.us/img534/5210/spermwhalelg.jpg, obrázek doplněn redakcí*

10 Záchrana pilotov v oceáne

Pred koncom druhej svetovej vojny, keď boli USA vo vojne s Japonskom, dostávali americkí piloti pred bojovými letmi nad oceán záchranný balíček, ktorý okrem lekárničky, nafukovacieho člna a zásoby vody a potravín obsahoval dve duté kovové guľky veľkosti pingpongových loptičiek. Piloti dostali inštrukciu, že ak sa im podarí prežiť zostrelenie a ocitnú sa v záchrannom člne na mori, majú hodiť jednu guľku do vody a čakať na záchranu. Ak pomoc nepríde do 24 hodín, hodiť do vody aj druhú guľku.

Guľka bola vyrobená tak, aby v určitej hĺbke pod tlakom vody praskla a rozbila sa. Takýto dej sa nazýva implózia a je (podobne ako explózia) doprevádzaný silným zvukovým efektom. Tlak bol zvolený tak, aby guľka praskla blízko osi hlbokovodného zvukového kanálu. Zvuk implózie sa zvukovým kanálom šíril na vzdialenosť tisícov kilometrov, takže ho mohlo zachytiť vojenské námorníctvo USA, ktoré malo na vhodných miestach oceánu lode vybavené citlivými hydrofónmi, spustenými do hĺbky zvukového kanálu. Pri zachytení signálu na najmenej troch lodiach (s určeným presného času prijatia signálu) bolo možné trianguláciou vypočítať presnú polohu zostreleného pilota. Metódu navrhol Maurice Ewing [4].

11 Roswellské UFO

V júli roku 1947 havaroval pri vojenskej základni v Roswelli tajomný objekt, ktorý novinári nazvali Roswellské UFO. Záhada zamestnávala americkú tlač niekoľko mesiacov a vláda USA bola obviňovaná, že utajuje kontakty s mimozemšťanmi. Pravda vyšla na povrch až v roku 1994, keď vláda USA odtajnila príslušné materiály o projekte MOGUL, ako o tom píše vo svojej knihe R. Muller [4].

Bolo to obdobie začínajúcej studenej vojny, keď USA mali monopol na atómovú bombu a žili v obavách, či ju náhodou nevyvinul aj Sovietsky Zväz. Pre Spojené štáty bolo veľmi dôležitým vedieť, či ZSSR neuskutočnil pokusný jadrový výbuch. V tých časoch neexistovali satelity ani nebola možnosť letecky monitorovať celý vzdušný priestor ZSSR, preto bolo treba nájsť inú metódu diagnostiky. Pri výbuchu atómovej bomby vzniká v atmosfére veľmi silná rázová vlna, ktorá sa šíri troposférou až do stratosféry. Na detekciu tejto vlny bol využitý stratosférický zvukový kanál. Ako je známe [3], teplota vzduchu vo vyšších vrstvách troposféry klesá až do výšky 10–12 km, v tropopause je viac menej konštantná, a od výšky 18–20 km začína znovu stúpať. V stratosfére sa teda nachádza zvukový kanál, ktorým sa môže zvuk šíriť na obrovské vzdialenosti. A práve tento jav bol použitý na detekciu prípadných jadrových výbuchov protivníka. Projekt MOGUL spočíval vo vytvorení niekoľkých špeciálnych stratosferických balónov, vybavených citlivými mikrofónmi a aparatúrami na príjem nízkofrekvenčných zvukových vĺn. Jeden z takýchto balónov havaroval pri Roswelli. Kvôli utajeniu vláda USA podporovala kryciu verziu o mimozemšťanoch.



Obr. 14 – Roswellské UFO[5]

Záver

Fyzika je jednou z najdôležitejších disciplín, ktorá má priamy dopad na rozvoj civilizácie a najmä jej zásluhou využívame všetky výhody prístrojov a technológií, ktoré nás obklopujú. Na druhej strane, fyzika má v súčasnej spoločnosti veľmi nízku popularitu a jej význam si málokto uvedomuje. Je preto veľmi dôležité popularizovať fyziku a neustále poukazovať na jej prínos pre priemysel, lekárstvo, a všetky oblasti ľudskej činnosti. Dúfame, že materiál uvedený v článku prispeje k zvýšeniu záujmu žiakov a študentov o fyziku.

5 *http://reinep.files.wordpress.com/2011/07/roswell-crashed-saucer-original-photo1.jpg, obrázek doplněn redakcí*

Literatúra

[1] ILKOVIČ, Dionýz. *Fyzika I*. Bratislava: Alfa, 1969.
[2] Dostupné na: http://www.sengpielaudio.com/calculator-airpressure.htm
[3] BEDNÁR, Jan. *Meteorologie*. Praha: Portál, 2003.
[4] MULLER, Richard A. *Physics for Future presidents. Ch.7 Waves*. Dostupné na: http://muller.lbl.gov/teaching/physics10/PffP_textbook/PffP-07-waves-5-27.htm
[5] *The Free Dictionary by FARLEX. Atmospheric Acoustics*. Dostupné na: http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Atmospheric+acoustics
[6] ROSS, Charles D. *Civil War Acoustic Shadows.* Shippensburg: White Mane Books, 2001.
[7] LURTON, Xavier. *An Introduction to Underwater Acoustics.* Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2002.
[8] *Windows to the Universe*. Dostupné na: http://www.windows2universe.org/
[9] *Wikipedia.* Dostupné na: http://en.wikipedia.org/wiki/File:SOFAR.png
[10] *MetEd.* Dostupné na: https://www.meted.ucar.edu/
[11] *Wikipedia*. Dostupné na: http://en.wikipedia.org/wiki/Leonid_Brekhovskikh
[12] BRECHOVSKICH, Leonid M. *Volny v sloistych sredach*. Moskva, Leningrad: Izd. AN SSSR, 1957.
[13] PAYNE, Roger and WEBB, Douglas. *Orientation by Means of Long Range Acoustic Signaling in Baleen Whales*. In: Annals N.Y. Acad. Sci.,vol. 188, 1971.

Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 6

Miroslav Randa[1], Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

FAKULTA PEDAGOGICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

**Jednota českých matematiků a fyziků,
pobočka Plzeň,**

**Fakulta pedagogická ZČU v Plzni,
katedra matematiky, fyziky
a technické výchovy,
oddělení fyziky,**

**Jednota českých matematiků a fyziků,
Fyzikální pedagogická společnost**

vás zvou na konferenci s mezinárodní účastí

Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 6

věnovanou vyučování fyziky v kontextu potřeb současné společnosti
zaměřenou především na
inovaci obsahu výuky fyziky.

Konference se bude konat
**v hotelu Šumava v Kašperských Horách (v Amálině údolí)
ve dnech 24.–26. dubna 2013**

pod záštitou rektorky Západočeské univerzity v Plzni
doc. PaedDr. Ilony Mauritzové, Ph.D.

Konference navazuje na předchozí pravidelná setkání učitelů fyziky,
která se uskutečnila v letech 2003, 2005, 2007 a 2009 v Srní a v roce 2011 v Plzni.

1 randam@kmt.zcu.cz

Programový výbor:

Doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc. (Praha, Česká republika)
Mag. Dr. Gerhard Rath (Graz, Rakousko)
Doc. Dr. Ing. Karel Rauner (Plzeň, Česká republika)
Prof. RNDr. Juraj Slabeycius, CSc. (Ružomberok, Slovenská republika)
Prof. RNDr. Ivo Volf, CSc. (Hradec Králové, Česká republika)

Organizační výbor:

PaedDr. Josef Kepka, CSc.
Mgr. Robert Kunesch
PhDr. Pavel Masopust, Ph.D.
RNDr. Jitka Prokšová, Ph.D.
RNDr. Miroslav Randa, Ph.D.

Garanti sekcí:

SŠ: Prof. RNDr. Emanuel Svoboda, CSc.
RNDr. Libor Koníček, Ph.D.
ZŠ: RNDr. Miroslav Randa, Ph.D.
VŠ: Doc. Dr. Ing. Karel Rauner

Konference bude zaměřena zejména na následující témata:

Inovace obsahu výuky fyziky (aneb co mají žáci a studenti znát z fyziky)
- nové didaktické koncepce ve vyučování fyziky,
- inovativní výukové materiály a učební texty, zkušenosti s projektovou výukou ve výuce,
- aktuální vědecké poznatky fyzikálních oborů a jejich aplikace ve výuce fyziky,
- výměna zkušeností z realizace školních vzdělávacích programů na základních školách a na gymnáziích.

Uplatnění moderních učebních metod a pomůcek ve fyzice
- školské měřicí systémy,
- interaktivní výuková prostředí,
- internetové výukové projekty,
- e-learning,
- vzdálené experimenty, výukový software (videoanalýza, applety, animace, …),
- fyzikální principy moderních přístrojů, nové fyzikální experimenty a laboratorní úlohy.

Výchova a vzdělávání žáků se specifickými vzdělávacími potřebami ve fyzice
- práce s nadanými studenty ve fyzice,
- specifika výuky fyziky pro žáky se specifickými vzdělávacími potřebami,
- soutěže ve fyzice.

V případě dostatečného počtu referujících bude část jednání probíhat v sekcích.

Jednací jazyky:

anglický, český, německý, slovenský

Akce je akreditována MŠMT jako vzdělávací akce pořádaná v systému dalšího vzdělávání pedagogických pracovníků (DVPP).

Konference bude zahájena 24. dubna v 16.30 a skončí 26. dubna do 12.00.

Ubytování:

Hotel leží 4 km od Rejštejna a 2 km od Kašperských Hor, nevede k němu pravidelná doprava. Účastníkům bude na požádání za úhradu zajištěna doprava z Kašperských Hor (totéž zpět).

Výše poplatků:

a)	ubytování ve 3lůžkovém pokoji	500 Kč	na osobu a noc (včetně snídaně – švédský stůl);
b)	ubytování ve 2lůžkovém pokoji	600 Kč	na osobu a noc (včetně snídaně – švédský stůl);
c)	ubytování v 1lůžkovém pokoji	1 000 Kč	na osobu a noc (včetně snídaně – švédský stůl);
d)	vložné	1 000 Kč	(zahrnuje organizační náklady, doplatek sborníku všech příspěvků v elektronické podobě, občerstvení o přestávkách a nájem místností a techniky);
e)	stravné (formou bufetů)	840 Kč	zahrnuje večeři 24. 4. a 25. 4. a oběd 25. 4. a 26. 4. včetně nápoje

Další pokyny:

Z konference bude vydán **recenzovaný sborník** příspěvků na CD. Sborník bude vydán díky významné finanční pomoci FPS JČMF.

Číslo účtu pro účastníky: 000000-0721866349/0800, variabilní symbol 999XXXX (XXXX je kód účastníka, který obdržíte po přihlášení); do zprávy pro příjemce lze uvést jméno. Název účtu je „JČMF - pobočka Plzeň“. Budete-li se chtít zúčastnit společenského večera 25. dubna od 20 hodin, uhradíte při prezenci 600 Kč v hotovosti.

Příspěvky vystupujících je nutné odevzdat v elektronické (na adresu randam@kmt.zcu.cz) i písemné podobě nejpozději při prezenci. Elektronickou verzi můžete zpracovat v šabloně, která je umístěna na adrese http://kof.zcu.cz/ak/trendy/6/prg/sablona_sbornik.dot). **Programový výbor na základě anotace příspěvku rozhodne o jeho zařazení do sekce, případně o prezentování formou posteru.**

Přihlášky na konferenci se podávají elektronicky na webových stránkách http://kof.zcu.cz/ak/trendy/6/index.php?co=prihl. Uzávěrka pro podávání přihlášek je 18. 3. 2013. Do 31. 3. 2013 dostanou přihlášení potvrzení a předběžný program konference. Další informace budou rovněž zveřejněny na **webových stránkách konference – http://kof.zcu.cz/ak/trendy/6/index.php?co=oz**. Počet míst v hotelu je omezen, proto bude brán zřetel na pořadí došlých přihlášek. V případě nenaplnění kapacity bude možno přijímat přihlášky i po uvedeném termínu.

Bližší informace o konferenci získáte na adresách:

RNDr. Miroslav Randa, Ph.D.
KMT FPE ZČU
Klatovská 51, 306 14 Plzeň
✉ randam@kmt.zcu.cz
☎ 377 636 303, 737 451 356

PaedDr. Josef Kepka, CSc.
KMT FPE ZČU
Chodské náměstí 1, 306 14 Plzeň
✉ kepka@spp.zcu.cz
☎ 377 636 670, 606 665 100

Proč už nemusejí žáci základní školy nastupovat do jedoucího vlaku

Ivo Volf, Pavel Kabrhel[1], Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové

Žáci základní školy se ve výuce fyziky seznamují se základy kinematiky, ale pouze v případě pohybu rovnoměrného poznávají matematický model. Nesetkají se tedy ve výuce se základními vztahy, jež se týkají reálných pohybů od startu až po zastavení vozidla. V článku se navrhuje jednoduché řešení, spočívající ve vytvoření grafického modelu. Náš přístup byl ověřen v práci se žáky s hlubším zájmem o fyziku v rámci Fyzikální olympiády.

Úvodem

Výuka fyziky na základní škole je charakteristická tím, že autoři učebnic i učitelé fyziky neustále nalézají cesty, jak zjednodušit výklad učiva, jak nalézt vhodné motivační cesty pro to, aby žáci pochopili fyzikální popis světa a naučili se řešit jednoduché problémy, poskytující odpovědi na otázky, jež vyplývají ze žákova okolí, neboť *fyzika je všude kolem nás*. Velmi dobrou příležitostí jsou základy kinematiky, jež bývaly vždy zařazeny do výuky v 7. ročníku základní školy. Žáci se seznamují s prostoročasem, tedy s umístěním těles v prostoru s tím, že toto umístění se může měnit, a tak se popisuje pohyb tělesa. Obecné vyjádření je doprovázeno konkretizací jak *tělesa*, kterým nebývá idealizace ve formě *hmotného bodu*, ale konkrétní osoby, zvířata i věci (spolužáci, sportovci, závodní kůň, automobil atd.), tak *polohy* těles (lyžař na sjezdové dráze, letadlo na trase Praha–Londýn Heathrow, přirozená družice Marsu) či časové zařazení (objevení Ameriky Kolumbem v roce 1492, vypuštění družice s prvním kosmonautem Jurijem Gagarinem 1961, první krok člověka na povrchu Měsíce 1969).

V kinematice se žáci učí o dělení pohybů podle celkového „vzhledu“ (pohyby posuvné, otáčivé, popř. pohyby valivé), dále podle trajektorie (pohyby přímočaré a křivočaré), či podle velikosti rychlosti (pohyby rovnoměrné a nerovnoměrné, popř. jako zjednodušené modely pohyby rovnoměrně zrychlené či zpomalené). V 7. ročníku základní školy je pro výuku fyziky značně omezující matematická stránka výuky, protože ve většině škol žáci ještě neznají z matematiky řešení rovnic, a to ani lineárních. Musíme proto volit jednu z následujících cest: buď omezit matematizaci reálných situací a znemožnit tak při výuce řešení mnoha zajímavých problémů z okolního světa, nebo najít jiné, jednoduché a matematické přípravě žáků adekvátní přístupy. V učebnicích fyziky je proto obvyklé, že při výuce zůstává učitel fyziky pouze u pohybu rovnoměrného přímočarého, pro nějž se uvádí, že dráha je lineární funkcí času. Žák poznává vztah $s = v \cdot t$, který umožňuje jednoduché výpočty dráhy, rychlosti nebo doby pohybu. V reálné situaci ovšem např. do vlaku metra, který se nachází ve stanici, nejprve nastoupí lidé, „dveře se zavírají“, vlak se pomalu rozjíždí. To lze modelovat rovnoměrně zrychleným pohybem, o němž se žáci dozvědí až v 1. ročníku střední školy. Poté, co vlak metra dosáhne určité rychlosti, může dále pokračovat rovnoměrným pohybem a v určitém okamžiku začne brzdit (to opět modelujeme rovnoměrně zpomaleným pohybem) a brzdí až do doby, kdy zastaví v následující stanici. Ve fyzikálních úlohách ani takto jednoduchý problém nejsme schopni matematizovat. Do jedoucí vlakové soupravy lidé nastupovat nemohou… I když existují určité výjimky.

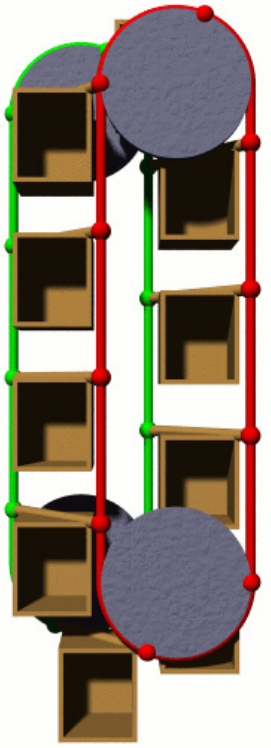
Pohybující se přepravníky

Nástup do pohybujícího se zařízení není tak neobvyklý, jak by se zdálo. Na řadě míst republiky se nacházejí tzv. oběžné výtahy (lidově páternoster), které se skládají z několika kabin, navzájem spojených, a tento řetězec je v neustálém pohybu. Pro pochopení činnosti můžeme doporučit animovaný obrázek na `http://cs.wikipedia.org/wiki/Paternoster`.

Na této stránce v českém znění najdete také seznam páternosterů v jednotlivých krajích České republiky, které jsou v provozu. Pokud by čtenář chtěl vyzkoušet pohyb tohoto zařízení, je nutno připomenout, že podle normy

1 *ivo.volf@uhk.cz, pavel.kabrhel@uhk.cz*

nepatří páternoster mezi osobní výtahy, ale mezi strojní zařízení, nesplňuje bezpečnostní předpisy stanovené pro výtahy a je nutná velká opatrnost zejména při nastupování a vystupování. Na animaci také zjistíte, že není nutno se obávat pro případ, kdybyste nestačili v horní stanici vystoupit. A nyní úloha:



Obr. 1 – páternoster[2]

Ú1: Výtah páternoster

Výtah páternoster se pohybuje ve svislém směru stálou rychlostí 0,30 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Za jak dlouho urazí svislou vzdálenost mezi dvěma poschodími v budově polikliniky o výškovém rozdílu 15,6 m?

Ř1: Předpokládáme, že se kabiny pohybují rovnoměrným pohybem, a proto využijeme vztahu $s = v \cdot t$, po dosazení získáme dobu pohybu 52 s. Po schodišti by to trvalo pro většinu pacientů mnohem déle, zejména pak pro držitele průkazek ZTP.

Jiným případem, kdy musí člověk nastoupit na již pohybující se zařízení, je tzv. travelátor (česky pohyblivý chodník). Setkáte se s ním na větších letištích, kde usnadňuje cestujícím příchod chodbami k letištním odletovým halám. Doporučená rychlost pohybu travelátoru je nejvýše 9,0 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, zpravidla je menší. Delší trasy jsou rozděleny na části, jež nenavazují těsně na sebe.

Ú2: Pohyblivý chodník na letišti

Na rozlehlém letišti je nutno při přestupu na další letadlo urazit větší vzdálenost; využijeme dva na sebe navazující pohyblivé chodníky s rychlostí 7,2 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$; na prvním jsme se zdrželi 35 s, potom jsme přeběhli za 10 s pevnou část chodby rychlostí opět 7,2 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ a na dalším jsme strávili 55 s. Jak dlouhé byly úseky?

Ř2: V obou případech vystačíme se vztahem $s = v \cdot t$, pro první úsek vychází 70 m, pro druhý chodník 110 m, pevný úsek přeběhneme stejnou rychlostí, tedy 20 m. Celková trasa, kterou jsme museli urazit, byla tedy 200 m.



Obr. 2 – pohyblivý chodník[3]

Kdo ještě neletěl letadlem, setkal se určitě s pohyblivými schody, tzv. eskalátorem, a to např. v metru nebo v obchodních domech. Eskalátory pomáhají překonávat výškové rozdíly obdobně jako schodiště. Norma rychlosti eskalátorů pro Evropskou unii činí nejvýše 0,75 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, tj. 2,7 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, ale většinou je nižší, tedy mezi 0,27 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ až 0,55 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, a to např. podle hustoty provozu.

2 http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paternoster_animated.gif

3 http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Terminal2a.JPG

Ú3: Eskalátor ve stanici metra

Stanice pražského metra Náměstí Míru má eskalátor o délce 82 m, který dosahuje až do hloubky 52 m. Jak dlouho může trvat přesun cestujícího tímto eskalátorem? Odhadněte též (nejlépe pomocí obrázku), jaký úhel svírá pohyblivé schodiště se směrem vodorovným.

Ř3: Užijeme stejný vztah jako v minulých úlohách a pro s = 82 m a uvedené rychlosti získáváme interval doby pohybu od 150 s do 304 s. Úhel odměříme z obrázku, který tvoří trojúhelník s přeponou 82 m a protilehlou odvěsnou svislých 52 m, tedy přibližně 40 °.



Obr. 3 – eskalátor[4]



Obr. 4 – London Eye[5]

Na začátku tohoto století a tisíciletí byla postavena v Londýně velká turistická atrakce, tzv. London Eye (Londýnské oko). Svislý kolotoč ve tvaru předního kola bicyklu má po obvodu kabinky pro 25 cestujících, dosahuje do výšky až 135 m, průměr kola je 120 m. Uvedeme jen pro zajímavost, že hlavní hřídel, závěsy a další ocelové části byly vyrobeny v České republice, a to v plzeňském závodě Škoda. Protože by nastupování a vystupování postupně z jednotlivých kabinek zabralo hodně času, London Eye nezastavuje, a turisté musejí tyto akce provést během doby, kdy kabinka míjí nástupní či výstupní plochu.

Ú4: London Eye

Průměr kružnice, po které se pohybuje střed některé z kabinek, je 120 m, dobu pohybu kabinky zpět do výchozí polohy odhadneme na 28 min. Vypočtěte, zda rychlost neustálého pohybu kabinek bez zastavení není pro cestující nebezpečná.

Ř4: Úloha se opět dá vyřešit pomocí znalostí žáků 7. ročníku, tedy pomocí vztahu $s = v \cdot t$. Protože se však o délce kružnice hovoří až v matematice 8. ročníku, musíme připojit ještě vztah pro délku kružnice $l = 2\pi \cdot r = \pi \cdot d$. Délka kružnice o průměru 120 m je 377 m, doba jedné otočky vychází 1 680 s, tedy rychlost pohybu kabinky je 0,22 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, což je rychlost srovnatelná s obdobnými dopravními prostředky.

4 http://commons.wikimedia.org/wiki/File:London_Underground_Escalator.jpg

5 http://commons.wikimedia.org/wiki/File:London_Eye_27.jpg

Rozjíždějící se a zastavující vlak

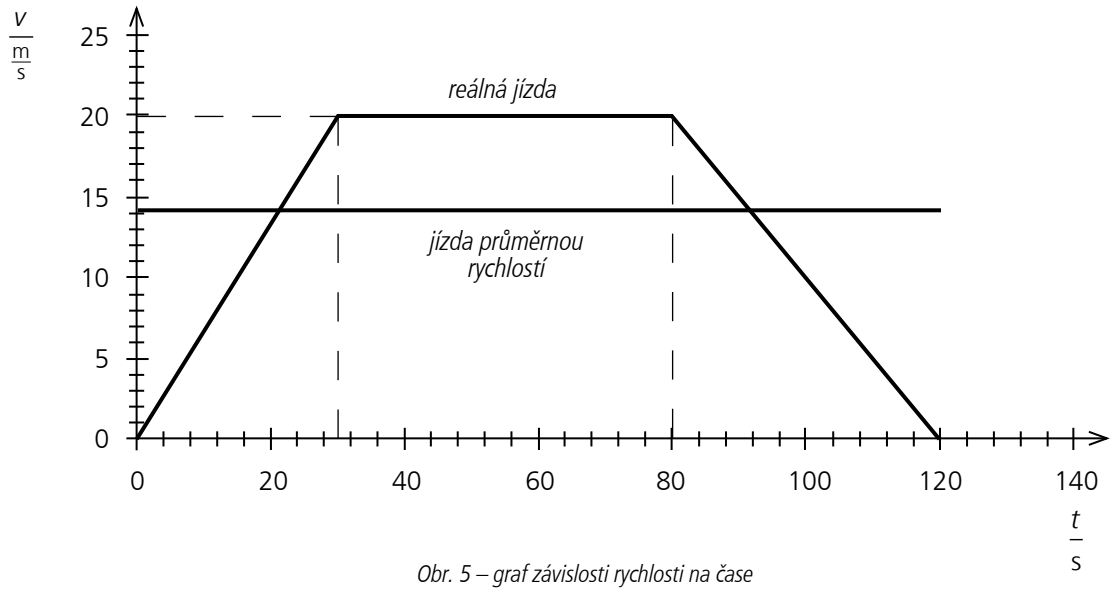
V běžné praxi, tedy v občanském životě či v rámci různých technických zařízení a při transportu, však většinou není možné, aby lidé naskakovali do jedoucího dopravního prostředku. Na rozdíl např. od starších pražských tramvají, kde byly vagóny otevřené, a tak umožňovaly naskakování a vyskakování při snížené rychlosti, jsou dnes dveře vagónů blokovány a lze je otevřít jen v případě zastavení, tedy za určitých bezpečnostních záruk. Vlak nejdříve stojí u nástupiště, lidé nastoupí, dveře se zavřou a vlak se rozjíždí tak, že po určité době t_1 dosáhne určité rychlosti v. Tento pohyb považujeme za rovnoměrně zrychlený, takže rychlost je lineární funkcí času, $v = a \cdot t$, kde a je zrychlení (akcelerace). Dále vlak touto rychlostí jede po dobu t_2 rovnoměrným pohybem; v určitém okamžiku před následující stanicí začne strojvůdce brzdit a po době t_3 vlak zastaví v následující stanici.

V matematickém modelu můžeme tedy využít dvě lineární závislosti rychlosti na čase (pohyb rovnoměrně zrychlený a pohyb rovnoměrně zpomalený), které jsou spojeny rovnoměrným pohybem. Tuto závislost nejlépe vyjádříme graficky jako funkci času v grafu $v = f(t)$. Pro dobu t_2 víme, že dráha $s_2 = v \cdot t$ je vyjádřena obsahem obdélníka o stranách t, v. Dráhu při pohybu rovnoměrně zrychleném a rovnoměrně zpomaleném vypočteme pomocí obsahu dvou trojúhelníků pod grafem rychlosti, který představuje úsečku šikmou k ose času.

Ú5: Vlak metra mezi stanicemi I

Vlak metra se pohybuje po dobu 30 s rovnoměrně zrychleným pohybem, kdy rychlost je přímo úměrná době pohybu, až dosáhne rychlosti 72 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Poté se pohybuje 50 s touto stálou rychlostí a následně začne brzdit tak, že se jeho rychlost zmenšuje lineárně s časem, až se vlak zastaví na další stanici po době 40 s. Jak dlouho trvá pohyb vlaku metra, jak daleko jsou od sebe sousední stanice a jaké průměrné rychlosti při jízdě vlak dosáhl? K řešení nakresli graf $v = f(t)$ a na závěr vyznač do grafu pohyb vlaku, kdyby po celou dobu jel průměrnou rychlostí.

Ř5: Nejprve stanovíme obsah obdélníka při rovnoměrném pohybu rychlostí 20 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, $s_2 = v \cdot t_2 = 1000$ m, dráha při rozjíždění $s_1 = \frac{1}{2} v \cdot t_1 = 300$ m, dráha při zastavování je $s_3 = \frac{1}{2} v \cdot t_3 = 400$ m. Nyní můžeme formulovat odpovědi na zadané úkoly: Pohyb vlaku od okamžiku startu až do zastavení trval 120 s = 2 min, ujetá vzdálenost s = 1 700 m, což je též vzdálenost dvou sousedních stanic, průměrná rychlost vlaku metra na trase je $v_p = 14{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 51\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

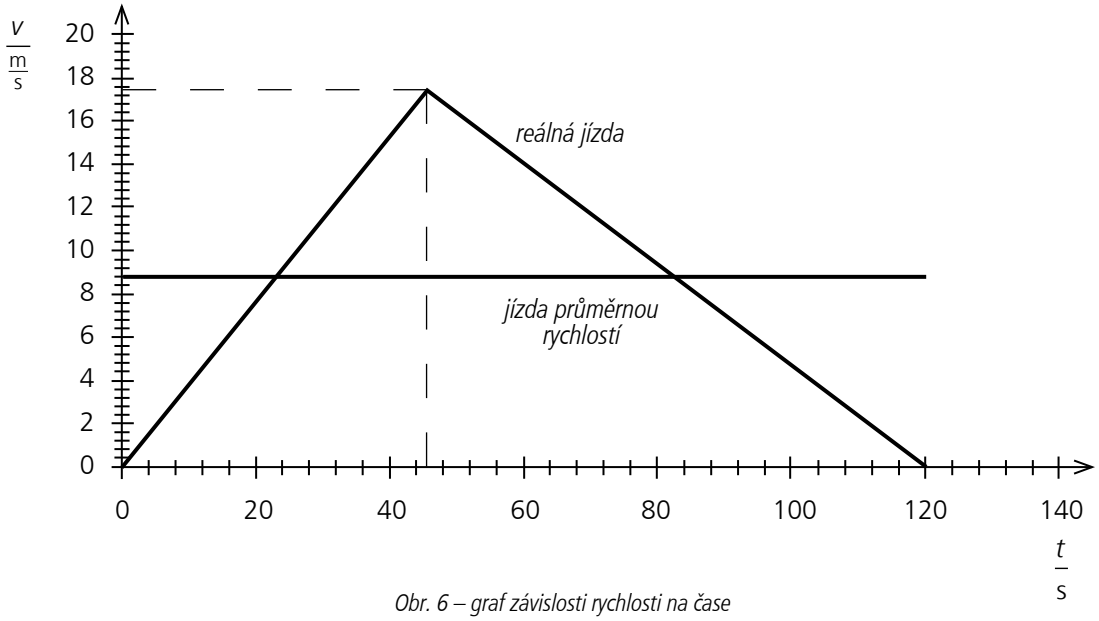


Obr. 5 – graf závislosti rychlosti na čase

Ú6: Vlak metra mezi stanicemi II

V dalším úseku se strojvůdci metra podařilo, že po rovnoměrně zrychleném pohybu za dobu 45 s dosáhl rychlosti 63 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ a pak ihned začal rovnoměrně brzdit, takže zastavil za dobu 75 s. Jak daleko jsou od sebe tyto sousední stanice; jaké průměrné rychlosti vlak dosáhl?

Ř6: Tentokrát dosažená rychlost je 63 $\frac{\text{km}}{\text{h}} = 17{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, obrazec v grafu vyjadřující hodnotu dráhy se skládá ze dvou trojúhelníků, takže $s = \frac{1}{2} v \cdot (t_1 + t_2)$, po dosazení 1050 m, průměrná rychlost vychází $8{,}75\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 31{,}5\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Pohyb byl znázorněn v grafickém záznamu.



Obr. 6 – graf závislosti rychlosti na čase

Stejné úvahy užijeme i pro sportovní činnosti.

Ú7: Sprinterské závody

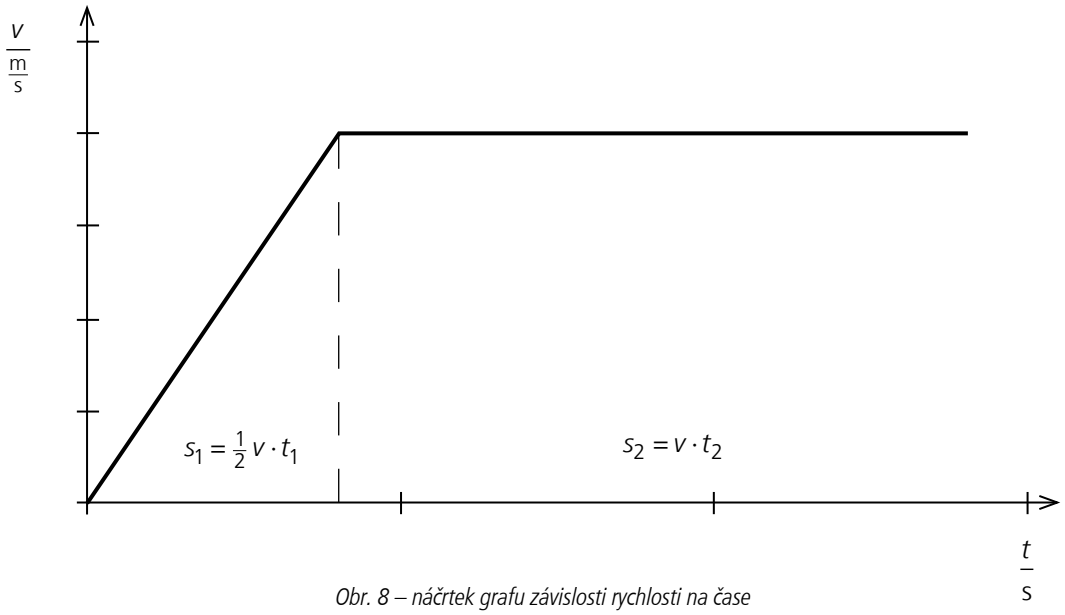
Při školním tělocviku běhali žáci Pavel a Filip závody na 60 m. Pavel se rozbíhal po dobu 4,5 s a přitom uběhl 18 m; zbylou dráhu běžel již stálou rychlostí. Filip se rozbíhal po dobu 5,0 s a uběhl 19 m, zbylou dráhu běžel již získanou stálou rychlostí. Protože máte cíl zakrytý školní budovou, určete výpočtem, který z chlapců byl v cíli první.

Ř7: Pro oba chlapce sestrojíme stejný náčrtek grafu $v = f(t)$, který nám umožní provést příslušné výpočty.



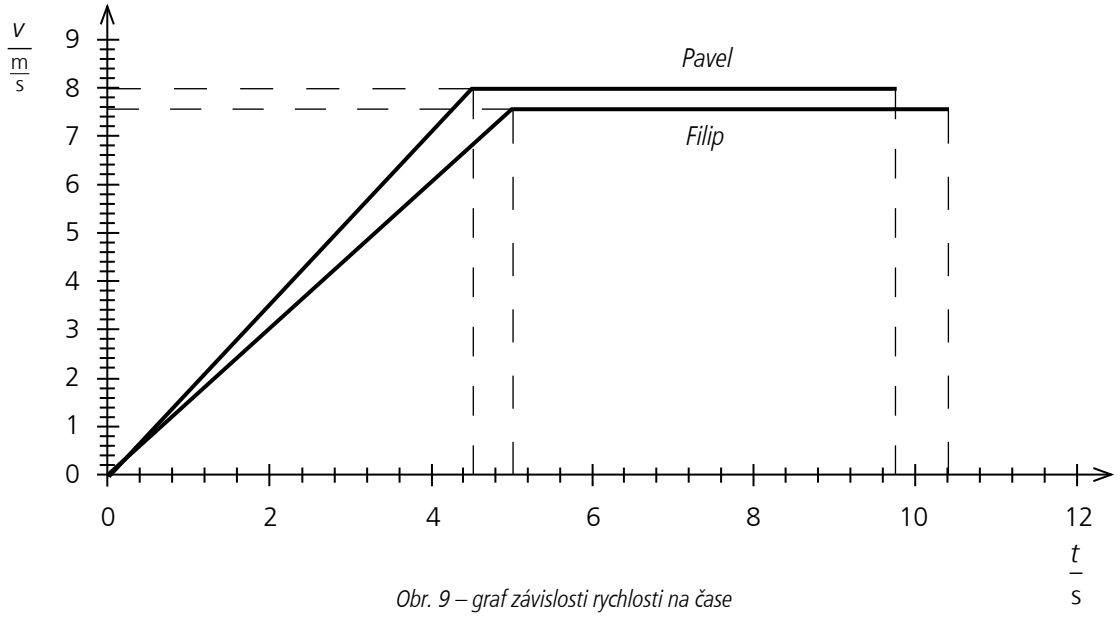
Obr. 7 – školní závody[6]

6 *http://zsblatnice.websnadno.cz/skolni_rok_2010_2011/ovov/ovov_sprint_60_original.jpg*



Obr. 8 – náčrtek grafu závislosti rychlosti na čase

V obou případech platí $s_1 = \frac{1}{2} v \cdot t_1$, tedy $v = \frac{2s_1}{t_1}$. Pro Pavla vychází rychlost na konci rozbíhání 8,0 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, doba běhu rovnoměrným pohybem 5,25 s, celková doba 9,75 s. Pro Filipa vychází rychlost na konci rozbíhání 7,6 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, doba běhu rovnoměrným pohybem 5,4 s, celková doba 10,4 s. V běhu zvítězil Pavel. Graf je vhodným matematickým modelem, pomáhá nám vytvořit správnou fyzikální představu.



Obr. 9 – graf závislosti rychlosti na čase

Ú8: Cyklistický závod s letmým startem

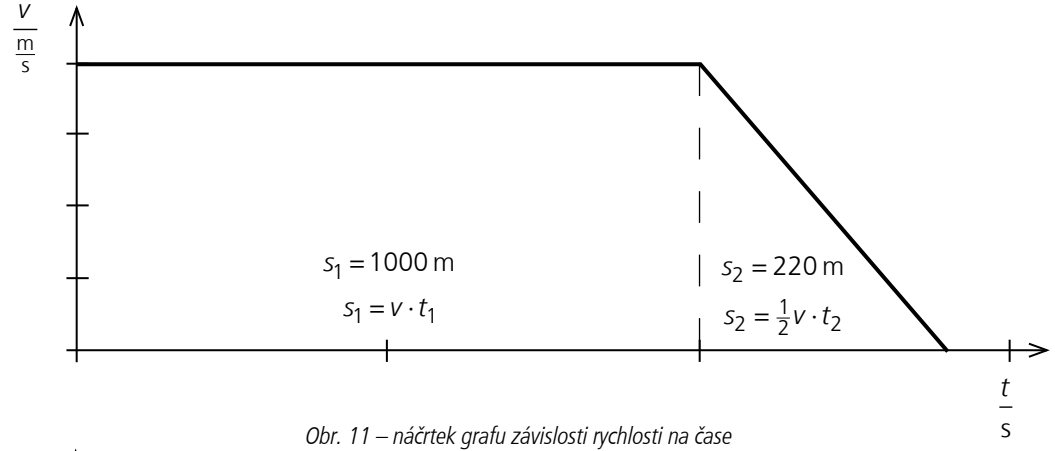
Cyklista Jenda chtěl co nejrychleji projet při závodech na krátké trati trasu 1,00 km, a proto zvolil tzv. závod s letmým startem. Přitom se závodník rozjíždí ještě před startovní čarou, při průjezdu startem se zapnou stopky a při průjezdu cílem se měří doba pohybu. Poté závodník Jenda zpomaloval rovnoměrně zpomaleným pohybem, až

zastavil za dobu 40 s na trase 220 m. Jakou stálou rychlostí projel Jenda závodní trať a jakého času dosáhl?

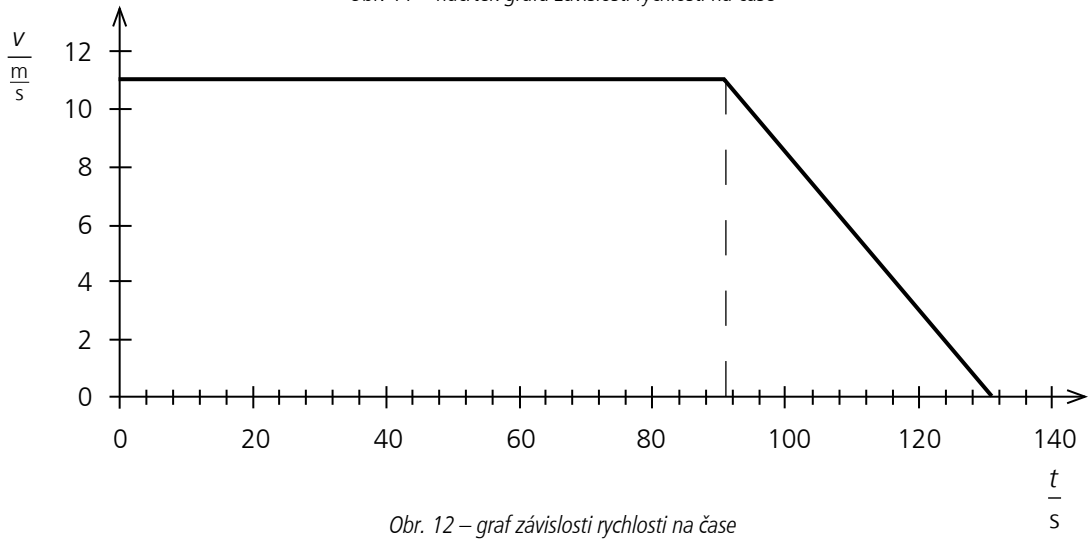
Ř8: K řešení si načrtneme graf změn rychlosti v závislosti na čase, $v = f(t)$. Pro první fázi, tj. rozjíždění, nemáme žádné údaje. Potom jede Jenda stálou rychlosti (nám ovšem neznámou) po dobu t_1 (také nám neznámou), až ujede trasu 1000 m a začne brzdit. Z údajů o brzdění můžeme vypočítat počáteční rychlost, $v = \frac{2s_2}{t_2} = 11\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 40\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$. Touto rychlostí projel sledovaný úsek 1 km za dobu 90,9 s, tj. asi 1,5 min.



Obr. 10 – dráhová cyklistika[7]



Obr. 11 – náčrtek grafu závislosti rychlosti na čase



Obr. 12 – graf závislosti rychlosti na čase

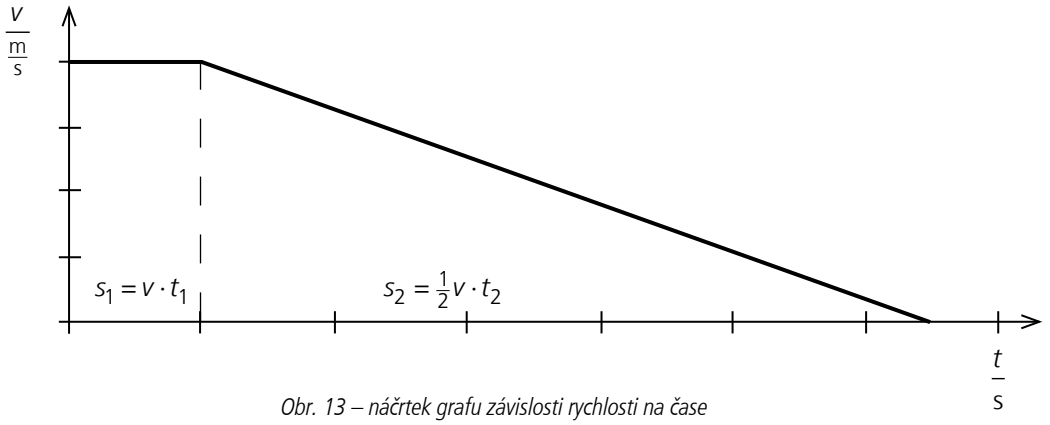
Ú9: Havárie při silničních závodech

Při silničních závodech jede skupina motocyklistů po vodorovné silnici, když náhle dojde k hromadnému pádu. Za nimi jede druhá skupina tří motocyklistů stálou rychlostí 144 $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$, kteří jedou vedle sebe. Předpokládejme, že všichni tři spatřili hromadný pád v určitém stejném okamžiku. První motocykl (řízený Jardou) začal brzdit po době 1,4 s a jeho

7 *http://www.dukla-cycling.cz/?p=110*

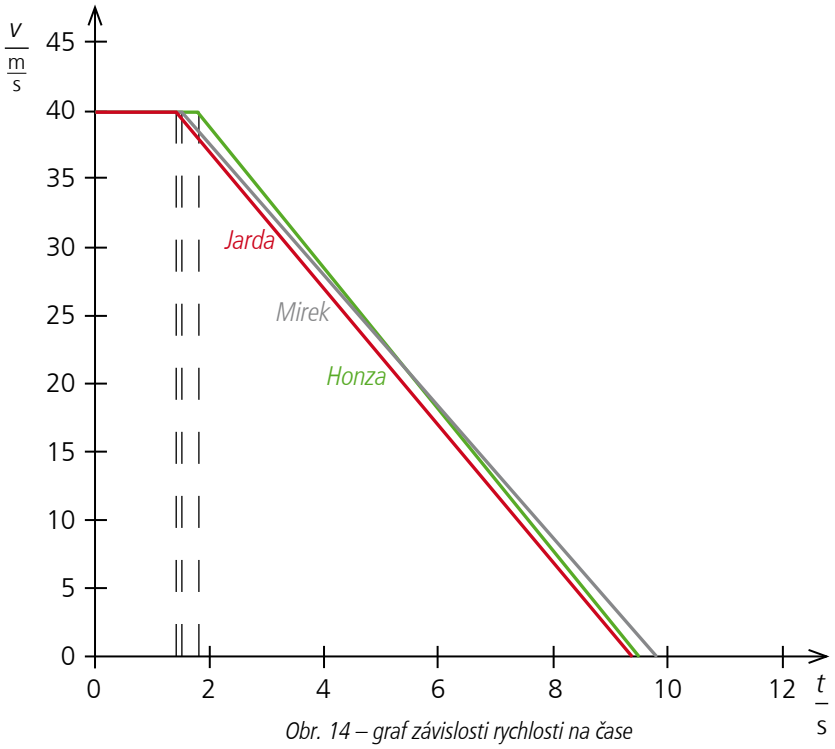
rychlost se zmenšovala o 5,0 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ za každou sekundu. Druhý motocyklista Honza byl unavený, jeho brzdy začaly reagovat po době 1,8 s od okamžiku zpozorování hromadného pádu a jeho motocykl brzdil tak, že za každou sekundu snížil svou rychlost o 5,2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Třetí motocyklista Mirek měl brzdy, jež začaly reagovat po době 1,5 s poté, co spatřil hromadný pád, a jeho brzdy způsobily, že každou sekundou se jeho rychlost zmenšovala o 4,8 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jeden závodník zabrzdil těsně před „hromadou zmačkaného kovu“, další do něj narazil a třetí stačil zastavit několik metrů před hromadou. Jak bylo asi daleko místo hromadného pádu? Kdo narazil do hromady? Jak daleko zastavil ten, který měl největší štěstí?

Ř9: K řešení načrtneme graf pro jen jeden případ, abychom mohli vytvořit nejprve matematický model pro popis situace a dospěli ke strategii řešení tohoto problému.



Obr. 13 – náčrtek grafu závislosti rychlosti na čase

Po dobu, co brzdy motocyklu ještě neovlivňují jeho pohyb, se motocykl pohybuje stálou rychlostí 144 $\frac{\text{km}}{\text{h}} = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ujeté vzdálenosti při nebrzděných motocyklech nám vycházejí: po Jardu 56 m, pro Honzu 72 m, pro Mirka 60 m. Při brzdění ujeli závodníci: Jarda 160 m, Honza 154 m, Mirek 167 m. Celková ujetá dráha pro Jardu vychází 216 m, pro Honzu 226 m, pro Mirka 227 m. Jarda zastavil 10 m před hromadou zmačkaného plechu, Honza právě před hromadou a Mirek mírně narazil v malé rychlosti do hromady.

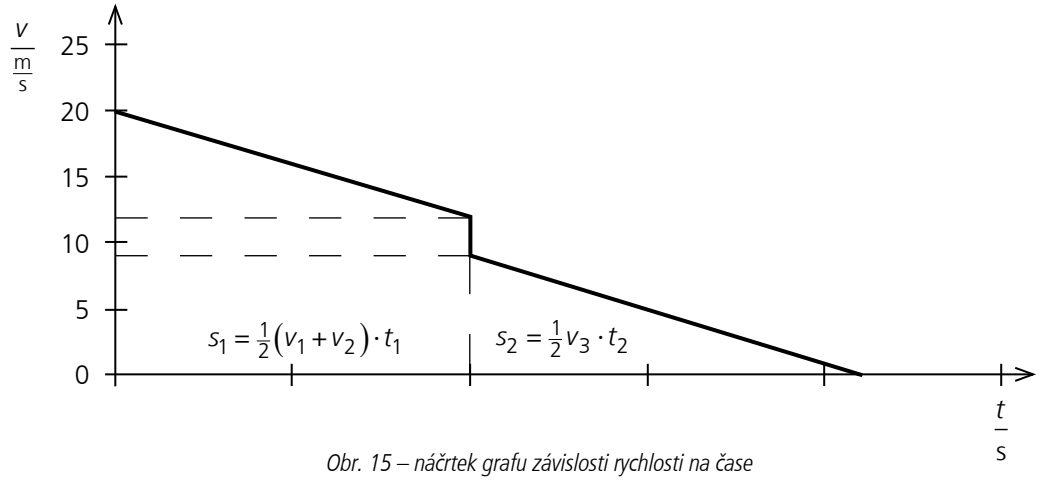


Obr. 14 – graf závislosti rychlosti na čase

Poslední úloha se poněkud vymyká obsahu, který byl avizován názvem tohoto článku. Chceme však ukázat, že se dají pomocí grafického záznamu řešit i podstatně složitější úlohy, přičemž není nutno mít znalosti středoškolské fyziky.

Ú10: Hokejista vyslal puk k hrazení

Hokejista odpálil puk ze vzdálenosti 32 m od hrazení počáteční rychlostí 20 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ směrem k zadnímu hrazení a hned se vydal za ním. Puk dopadl na hrazení rychlostí 12 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ a vzhledem k nedokonale pružnému odrazu se odrazil zpět rychlostí 9,0 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Zakreslete do grafu $v = f(t)$ časové změny rychlosti puku. Za jak dlouho po odpálení se puk dotkne zadního hrazení? Jak daleko od hrazení se puk zastaví? Jakou rychlostí musí jet hokejista, aby po tomto „nahození“ dojel k puku právě v okamžiku jeho zastavení, tedy aby mohl pokračovat v „práci“ s pukem?



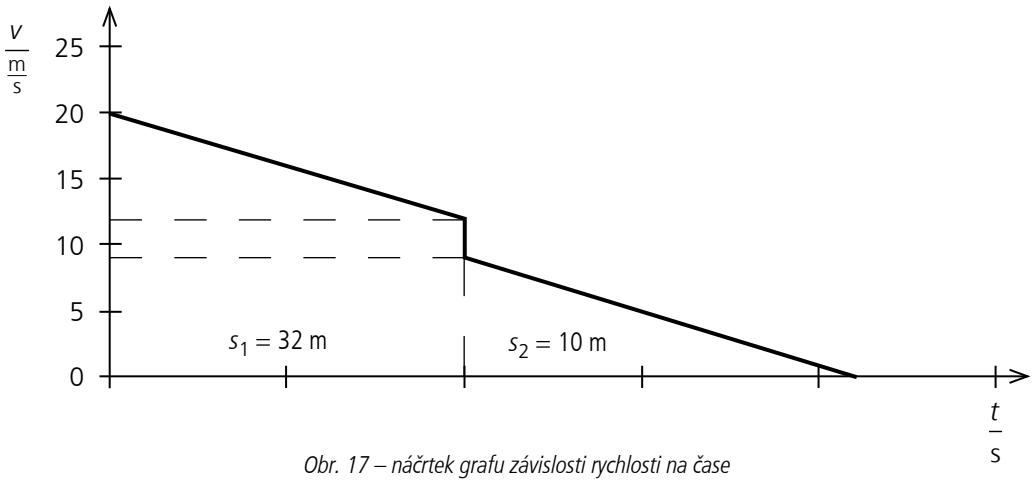
Obr. 15 – náčrtek grafu závislosti rychlosti na čase

Ř10: Úlohu budeme řešit na základě grafického záznamu $v = f(t)$.
Počáteční rychlost označíme $v_1 = 20\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, koncovou $v_2 = 12\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, protože se rychlost puku při rovnoměrně zpomaleném pohybu zmenšuje lineárně, můžeme určit průměrnou rychlost puku po dobu pohybu k hrazení $v_p = \frac{1}{2}(v_1 + v_2) = 16\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, trasu urazil puk za $t_1 = 2{,}0$ s. Odrazil se rychlostí $v_3 = 9{,}0\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ a zastavil se za dobu $t_2 = 2{,}25$ s, urazil dráhu $s_2 = \frac{1}{2} v_3 \cdot t_2$, $s_2 = 10\,\mathrm{m}$. Hokejista musí urazit za dobu 4,25 s dráhu 22 m, tedy musí jet stálou rychlostí 5,2 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.



Obr. 16 – lední hokej[8]

8 *http://hokej.idnes.cz/abstinent-jagr-dostal-sud-piva-neda-se-nic-delat-asi-budu-muset-zacit-pit-rekl-1sq-/reprezentace.aspx?c=A091217_211357_reprezentace_cig*



Obr. 17 – náčrtek grafu závislosti rychlosti na čase

Závěrem

Nadpis tohoto článku měl být poněkud provokativní. Grafické řešení problémů nebo aspoň náznak pro vytvoření strategie řešení a vhodného matematického modelu by se měly užívat při výuce fyziky nejen na střední, ale pokud možno i na základní škole. Úlohy na metodické využívání grafického záznamu $v = f(t)$ jsou zadávány běžně v nižších kategoriích Fyzikální olympiády, a proto by bylo vhodné, kdyby v rámci mimoškolní a mimotřídní činnosti se žáky, u nichž předpokládáme vyšší zájem o fyziku, se o této problematice hovořilo.

Jak pohnout zeměkoulí

Karel Rauner[1], Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

V pohádkách se často používá rčení *Do třetice všeho dobrého (i zlého)*. Sluší se tedy, abych předchozí dva články inspirované pohádkami (*Záleží na tom, jak se do toho tříská* a *Počkejte do zimy, spadnou*) doplnil třetím článkem, tentokrát opět příhodou z filmové pohádky Mrazík. Pohádkovou trilogii uzavírám rozborem fyzikálních možností realizace scény, ve které chce Nastěnka doplést punčochu do východu slunce, aby jí macecha nevyškubala vlasy.



V článku *Počkejte do zimy, spadnou*, jsem počítal výkon, který musel Ivan vyvinout ve filmu *Mrazík*, když vyhazuje klacky loupežníků tak, aby spadly za 200 dní. Vyšla obludná hodnota $7 \cdot 10^{12}$ W. Zároveň na závěr zmiňovaného článku uvádím, že ve filmu figuruje i další pozoruhodný výkon: Nastěnka donutí zajít vycházející slunce, aby stačila doplést punčochu. Ponechme stranou zjevný omyl filmařů, kteří nechali slunce vycházet zprava doleva, a zkusme opět podrobit tento výkon fyzikálnímu rozboru.

Slunce vychází díky rotaci Země kolem osy procházející jejím středem. Zatímco Země se otočí kolem své osy o 360 ° za hvězdný den, který má 86 164 s, úhlová rychlost je tedy $7{,}292 \cdot 10^{-5}$ rad $\cdot$ s^{-1}, průměrná perioda slunečního pohybu na obloze je 24 hodin, to je úhlová rychlost $7{,}272 \cdot 10^{-5}$ rad $\cdot$ s^{-1}. Úhlová velikost slunečního kotouče je asi 32 úhlových minut, to je $9{,}31 \cdot 10^{-3}$ rad. To znamená, že v místech, ve kterých vychází slunce kolmo k obzoru, trvá východ slunce asi 128 sekund. Protože jsem ale náš film situoval na 56 ° severní šířky, východ slunce tu bude trvat déle: v jarních měsících asi 210 sekund.

Nastěnka ve filmu poprosí jitřenku (což je ovšem chyba, protože jitřenkou se označuje Venuše a ta pochopitelně nemůže se Sluncem udělat nic), aby slunce ještě nevycházelo. Pak se stane podivná věc: slunce zacouvá zpět pod obzor a netrvá to ani 5 sekund. Fyzikálně to lze vysvětlit tím, že se změnil směr rotace Země a Země se pootočila zpět úhlovou rychlostí tolikrát větší, než je její běžná hodnota, kolikrát je běžný východ slunce delší než 5 sekund. Úhlová rychlost Země je proto během tohoto pohybu asi 42krát větší než úhlová rychlost slunce: $3{,}1 \cdot 10^{-3}$ rad $\cdot$ s^{-1}.

Celou událost můžeme rozdělit do čtyř částí:

- zastavení rotace Země,
- roztočení Země opačným směrem s podstatně větší úhlovou rychlostí,
- opětné zastavení rotace Země,
- roztočení Země původním směrem a původní rychlostí.

Zastavením Země v první fázi se uvolní obrovská energie. Tu můžeme vypočítat, známe-li moment setrvačnosti Země. Je to podivné, ale tuto hodnotu známe u naší rodné planety jen velmi nepřesně. Neznáme totiž přesnou závislost hustoty na vzdálenosti od středu Země. Pokud bychom počítali se Zemí jako s homogenní koulí o průměrné hustotě 5 515 kg $\cdot$ m^{-3}, vyšel by moment setrvačnosti $I_p = 9{,}8 \cdot 10^{37}$ kg $\cdot$ m^2. Ve skutečnosti je moment setrvačnosti menší, protože větší hustotu má Země v jádře, které je blíže středu. Kromě toho nelze považovat Zemi za tuhé

1 *rauner@kmt.zcu.cz*

těleso. V [2] se uvádí $I = 8{,}07 \cdot 10^{37}\ \mathrm{kg \cdot m^2}$, moment hybnosti pak $L = 5{,}89 \cdot 10^{33}\ \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}}$. Energie normálně rotující Země je tedy

$$E_n = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 \cong 2 \cdot 10^{29}\ \mathrm{J}. \tag{1}$$

K roztočení Země opačným směrem 42krát větší rychlostí je třeba 42^2 krát větší energie, tedy asi

$$3{,}8 \cdot 10^{32}\ \mathrm{J}. \tag{2}$$

I kdyby se nějakým způsobem podařilo energii podle (1) nějak akumulovat, příliš by to nepomohlo. Z filmu lze odhadnout, že ke změně rotace dojde asi za 1 sekundu, potřebný výkon je proto $3{,}8 \cdot 10^{32}$ W. Kam se hrabe Ivan se svým výkonem $7 \cdot 10^{12}$ W!

Je pravda, že během třetí a čtvrté etapy se energetická bilance srovná na nulu. Energii podle (2) však nutně potřebujeme. Pokusy o vysvětlení celého jevu druhou relací neurčitosti nemohou být úspěšné. Součin energetického deficitu $\Delta E = 3{,}8 \cdot 10^{32}$ J a potřebného časového intervalu $\Delta t = 5$ s není v žádném případě srovnatelný s $\frac{\hbar}{2} \cong 5{,}3 \cdot 10^{-35}\ \mathrm{J \cdot s}$, 67 řádů je přece jen hodně. Musíme se proto opět spokojit s tím, že je to jen pohádka.

Poznámka 1: I kdyby se popsaný experiment Nastěnce vydařil, byly by důsledky neúměrné příčině. Nastěnka otáčí pohyb Země jen proto, že nechce přijít o vlasy. Jen kvůli tomu by se stala bezkonkurenčně největším masovým vrahem v dějinách lidstva, které by vlastně tímto okamžikem asi skončily. Všechna tělesa na rovníku se normálně pohybují vzhledem k ose Země rychlostí

$$v = \omega \cdot R = 7{,}292 \cdot 10^{-5} \cdot 6{,}378 \cdot 10^{6}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} = 465\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}. \tag{3}$$

Na 56 ° severní šířky je to méně: $260\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Tato rychlost se ovšem během experimentu změní na rychlost 42krát větší a navíc opačného směru, to je $10{,}9\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$, na rovníku pak $19{,}5\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$. Protože existuje setrvačnost, vše nepřipevněné se tedy bude vzhledem k předmětům pevně přichyceným k zemi pohybovat relativní rychlostí $11{,}2\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$, na rovníku dokonce $20{,}0\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$. Narazí-li do nás takovou rychlostí nejbližší kopec, je pochopitelně po nás. Naše zbytky pak naberou rychlost, která v podstatné části Země překonává druhou kosmickou rychlost a uletí do vesmíru. Proto představa výtvarníka o konci světa z prvního obrázku se zdá být ještě optimistická. Naději lidstva by pak mohli představovat turisté, kteří jsou zrovna ledoborcem na severním pólu a vědci na jižním pólu (experiment IceCube), pokud by ovšem přežili nepředstavitelný vír, který by vznikl ve všech světových oceánech. Setrvačnost zemského jádra by také vykonala své a na zemi by to vypadalo spíše tak, jako na druhém obrázku.



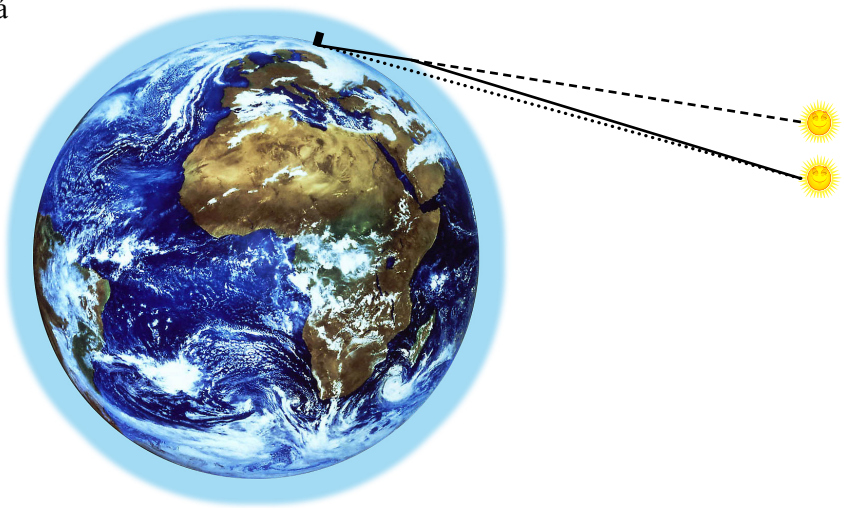


Obrázky jsou převzaty z `http://www.constellation7.org/TheFlood/Destruction.jpg` a `http://civilizer.files.wordpress.com/2007/07/end-of-the-world.jpg`.

Poznámka 2: K provedení experimentu by Nastěnka nepotřebovala jen zdroj obrovské energie, ale i těleso, které by vyrovnávalo moment hybnosti. Neplatí totiž jen zákon zachování energie, ale i zákon zachování momentu hybnosti. Optimálním tělesem by pro tento účel byl prstenec, který má velký moment setrvačnosti. Pokud by měl navíc velkou hustotu (například hustotu neutronové hvězdy), nemusel by být ani tak velký a těžký.

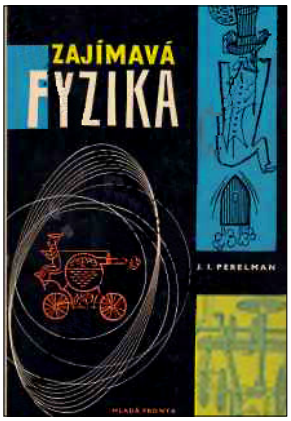
Poznámka 3: Existuje i další způsob, jak dosáhnout požadovaného efektu, který se zdá být na první pohled humánnější: pohnout Sluncem. Znamenalo by to během 5 sekund posunout Slunce asi o jeho 2 průměry, tj. asi o 2 800 000 km. Bohužel rychlost vychází nadsvětelná: 560 000 km $\cdot$ s^{-1}. I kdyby se Nastěnka spokojila s tím, že se slunce vrátí pod obzor za 15 sekund, což by znamenalo rychlost asi 190 000 km $\cdot$ s^{-1}, energetická náročnost by byla obludná: téměř $4 \cdot 10^{46}$ J. K tomu by bylo třeba anihilovat pětinu Slunce.

Poznámka 4: Nejelegantnější řešení problému představuje využití astronomické refrakce slunečního světla. Paprsek slunečního světla se k pozorovateli nešíří přímočaře (na obrázku tečkovaně), ale lomí se na rozhraní vakuum–atmosféra ke kolmici. Chod paprsku je na obrázku plnou čarou. Pozorovatel proto vidí slunce na prodloužení zalomené části – na obrázku čárkovaně. Vidí jej tedy nad obzorem dříve, než slunce geometricky vyjde. Protože refrakce v atmosféře dosahuje u obzoru téměř 35 úhlových minut a úhlová velikost slunce je asi 32 úhlových minut, vidíme slunce již v době, kdy je geometricky pod obzorem. Kdyby vycházelo slunce kolmo k obzoru, opticky by vycházelo asi o 2 minuty dříve. V případě zeměpisné šířky 56 ° je to asi 3,5 minuty. K zdánlivému západu slunce by tedy stačilo vytvořit v atmosféře vakuový tunel podél trajektorie lomeného paprsku. O správnosti úvahy se můžeme přesvědčit pohledem do kalendáře, ve kterém jsou i východy a západy slunce. Při rovnodennosti bychom očekávali, že mezi východem a západem slunce bude 12 hodin. Ve skutečnosti při rovnodennosti 20. 3. 2013 slunce vyšlo v 6.03 a zapadlo v 18.13, nad obzorem bylo tedy 12 hodin a 10 minut. Vzhledem k tomu, že východ a západ slunce jsou určeny okamžikem, kdy se horní okraj slunečního kotouče dotýká obzoru, je o 5 minut dřívější východ rozdílný od vypočítané hodnoty 3,5 minuty. Údaje jsou pro 15 ° východní délky a 50 ° severní šířky a jsou v SEČ.



Poznámka 5: Při přednášce Fyzika v pohádkách, kterou jsem přednášel na různých školách a při různých příležitostech, jsem se setkal s dalšími návrhy realizace popsané situace. Když pominu drastické návrhy inspirované moderní filmovou produkcí (například vypíchnout maceše oči), dají se uvést i některé další možnosti. Nejvtipnější z nich je vydloubnutí vesnice, ve které Nastěnka bydlí, a její přenesení na západ. Protože rovnoběžka na 56 ° severní šířky má délku asi 22 000 km, zpožďuje se východ slunce směrem na západ o 1 sekundu při posunutí o 260 m. Potřebných 7 minut by se tedy dalo dosáhnout přenesením vesnice o 110 km na západ. Jinou možností zpoždění východu slunce je propad vesnice na menší nadmořskou výšku. Tím se relativně zvýší obzor a slunce vyjde později. Jednoduchým geometrickým výpočtem dojdeme k tomu, že pro obzor vzdálený 3 km stačí propad vesnice o 50 metrů.

Poznámka 6: Popis dějů, které by nastaly po zastavení Země, líčí H. G. Wells v povídce *The Man Who Could Work Miracles*. Příslušný úryvek povídky v češtině si můžete přečíst v kapitole „Zastav se Země“ na 182. straně knihy J. I. Perelmana *Zajímavá fyzika*, kterou vydala Mladá fronta v roce 1962 (případně Naše vojsko v roce 1952).





Zdroje číselných údajů a obrázků

[1] http://sf.zcu.cz/rocnik05/cislo03/cislo3.98/w_zat.html
[2] http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/tmp/bardon_projectsoft/precese_nutace_preview.pdf
[3] http://www.hvezdarnacb.cz/cgi-bin/kar.cgi
[4] http://en.wikipedia.org/wiki/File:The_Man_Who_Could_Work_Miracles_film_poster.jpg
[5] http://www.pohadkar.cz/pohadka/mrazik/
[6] http://www.databazeknih.cz/knihy/zajimava-fyzika-91087
[8] http://www.constellation7.org/TheFlood/Destruction.jpg
[9] http://civilizer.files.wordpress.com/2007/07/end-of-the-world.jpg

Inspired in India – reportáž z cest

Václav Meškan[1], Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity, České Budějovice

Dovolte mi, abych v těchto chladných dnech krátce zavzpomínal na svůj pobyt v Centru pro rozvoj fyzikálního vzdělávání (Center for Development of Physics Education – CDPE) na University of Rajasthan v Indickém Džajpuru, který jsem absolvoval v září 2012. Měl jsem čest zúčastnit se jedenáctého motivačního workshopu pro indické středoškolské studenty Inspire Camp, který pořádá toto centrum pravidelně několikrát do roka. (INSPIRE je současně akronymem z INnovation in Science Pursuit for Inspired REsearch – inovace ve vědeckém úsilí za inspirovaný výzkum).



Obr. 1 – přednáškový sál a současně laboratoř CDPE

Studenti se na „Kempy“ do Džajpuru sjíždějí i z poměrně vzdálených míst Rádžasthánu (jeden ze svazových států Indie – Džajpur je hlavním městem Rádžasthánu). Cílem Inspire kempů je seznámit je zajímavou formou s přírodními vědami a technikou a motivovat je ke studiu těchto oborů, o jejichž studium je v Indii tradičně veliký zájem. Koncepcí vzdělávání v Indii, která výrazně upřednostňuje přírodovědné a technické obory oproti oborům humanitním, dosáhla indická vláda stavu, kdy 80 % vysokoškolských studentů studuje právě přírodovědné nebo technické obory. Tohoto vysokého procenta je dosaženo především nízkou nabídkou „nepotřebných“ humanitních oborů. Indická vláda ale současně podporuje i podobné popularizační aktivity, jako je džajpurský Inspire kemp, který je financován ministerstvem vědy a techniky. A nutno dodat, že náklady jsou to nemalé. Já jsem například ze svého honoráře za hodinové vystoupení měl uhrazené ubytování a stravu pro dva lidi a řidiče po celou dobu mého pobytu v Indii.



Obr. 2 – účastníci Inspire kempu

Zářijového kempu se zúčastnilo kolem 150 studentů, kteří 5 dní poměrně trpělivě naslouchali prezentacím renomovaných vědeckých kapacit z oblasti fyziky, věd o Zemi a medicíny. Součástí bylo několik prezentací demonstračních fyzikálních experimentů s jednoduchými levnými pomůckami, které se těšily velikému zájmu přítomných studentů i jejich učitelů. Většina prezentací probíhala v angličtině, což nepředstavovalo pro indické studenty nejmenší potíže, naopak ochotně kladli dotazy a vedli s přednášejícími vědci překvapivě odborné diskuse. Výuka na bohatších městských středních školách v Indii probíhá v angličtině a na univerzitách je pak

1 Meskan@email.cz



Obr. 3 – ředitel CDPE – profesor Y. K. Vijay ve své kanceláři

CDPE zajišťovalo studentům i hostům ubytování a stravu a v závěru byl každý student obdarován hodnotnými upomínkovými předměty. Program probíhal vždy od 9.00 ráno do 17.00 odpoledne a poté následovala společná večeře. Jedno odpoledne byla pro účastníky přichystána exkurze do planetária.

Do Džajpuru jsem byl pozván ředitelem Centra, profesorem Y. K. Vijayem, který v rámci dlouhodobé spolupráce obou pracovišť v červnu loňského roku navštívil Katedru aplikované fyziky a techniky PF JU a při té příležitosti angličtina oficiálním jazykem. Na velmi dobré úrovni byly ovšem i projevované znalosti mladých studentů v oblasti přírodních věd včetně fyziky.



Obr. 4 – veliké pozornosti se v oblasti fyzikálního vzdělávání v Indii těší experimenty s „low-cost no-cost" pomůckami – demonstrace 3. Newtonova zákona pomocí brček



Obr. 5 – skupinová fotografie účastníků kempu před budovou CDPE

i fakultní základní školu, na které, vedle práce odborného asistenta na pedagogické fakultě, působím jako učitel fyziky. Obsahem mého vystoupení na téma „Observing nature with simple experiments“ byla krátká přednáška o metodách výzkumu ve fyzikální vědě a roli experimentální fyziky, na kterou plynule navázala demonstrace pokusů s jednoduchými pomůckami z oblasti mechaniky a hydrostatiky doplněná o různé fyzikální kvízy. Pokusy se setkaly se značným úspěchem. Později jsem byl ještě pozván do jedné z místních soukromých základních škol, abych svůj výstup zopakoval pro tamější učitele přírodovědných předmětů.



Obr. 6 – soukromá základní škola, fyzikální laboratoř



Obr. 7 – základní škola, učebna

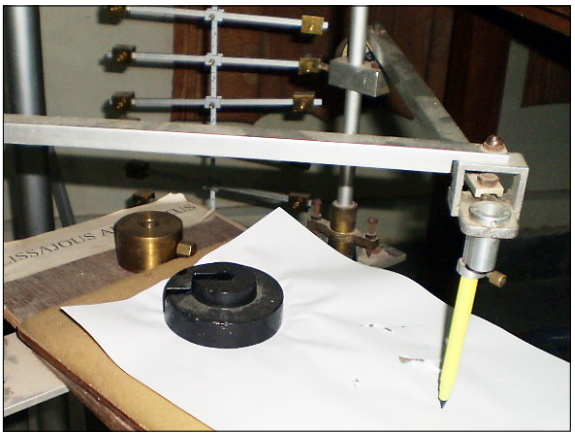
Centrum pro rozvoj fyzikálního vzdělávání je součástí katedry fyziky Rádžasthánské univerzity. Současný ředitel ve své práci navazuje na celoživotní dílo často s úctou vzpomínaného profesora Babulala Sarafa (1923–2009), který Inspire kempu přihlížel z obrazu v čele přednáškového sálu a laboratoře. Hlavní náplní centra je vývoj, výroba a distribuce nízkorozpočtových demonstračních souprav pro fyziku. V laboratoři centra je možné strávit dlouhé chvíle s jednoduchými „hand made“ demonstračními soupravami. Jednou z nich je například obdoba známé vzduchové dráhy. K vidění je zde ale mnohem více. Za všechny pomůcky je možné jmenovat například model Foucaultova kyvadla, soupravu pro demonstraci skládání kolmých kmitů, Kundtovu trubici, Quinckeho trubici vyrobenou z PVC trubek nebo důmyslný mechanický model Bohrova atomu. Veškeré demonstrační soupravy jsou vyráběny techniky v místní dílně a distribuovány za velmi přijatelné náklady do škol.



Obr. 8 – Foucaultovo kyvadlo



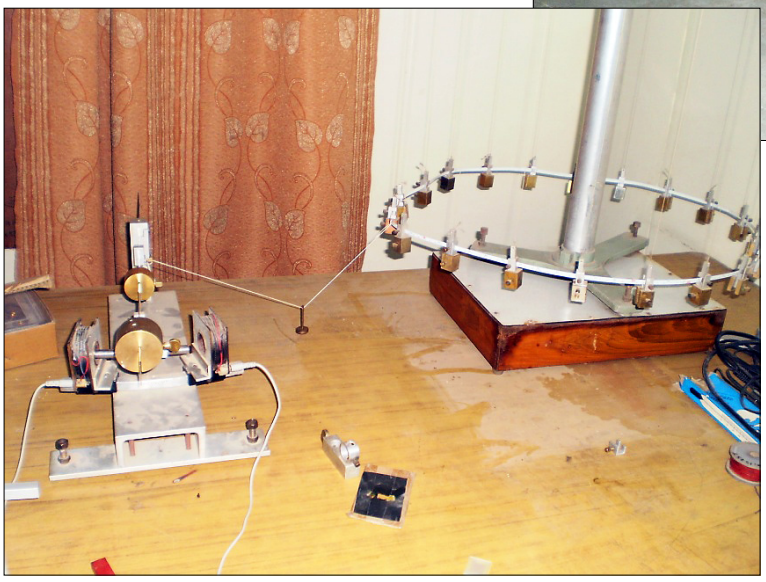
Obr. 9 – demonstrace skládání kolmých kmitů, „Lissajous apparatus"



Obr. 10 – „Lissajous apparatus", detail



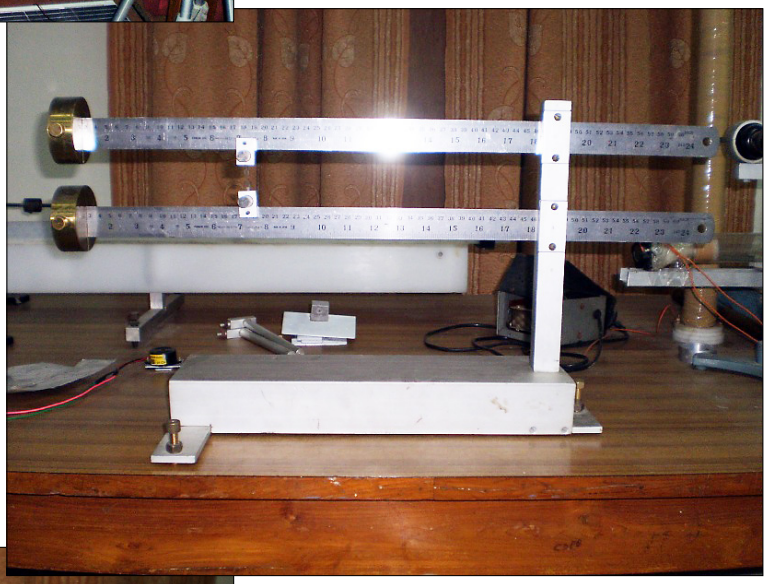
Obr. 11 – Quinckeho trubice z PVC



Obr. 12 – mechanický model Bohrova atomu



Obr. 13 – model difrakce na krystalech pomocí mikrovlnné soupravy



Obr. 14 – magneticky spřažené oscilátory



Obr. 15 – model krystalu pro demonstraci difrakce mikrovlnného záření



Obr. 16 – autor při návštěvě Taj Mahalu v Agře

Pobyt v Indii byl nejen protknut nevšedními zážitky, ale byl pro mne především cennou zkušeností a inspirací. Snad se i v České republice podaří postupně nalézt cestu k systematické popularizaci vědy a techniky a ke zvýšení úrovně vzdělanosti české společnosti v této oblasti. Přitom příklad Indie zřejmě ukazuje, že řešení nemusí nutně spočívat v mohutných finančních investicích do přírodovědného vzdělávání.

Odkazy

https://sites.google.com/site/vijayyk/home/inspire-camp
http://physics.unipune.ernet.in/~phyed/26.3/File3.pdf

O předpovědi počasí

Michal Žák[1], Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze

Lidé toužili předpovědět počasí už od nepaměti. Tato potřeba pochopitelně vzrostla v období, kdy se člověk začal zabývat zemědělstvím, kde stav a průběh počasí hraje naprosto podstatnou úlohu. Někdy v této době se lidé začali věnovat mnohem více pozorování stavu a vývoje oblohy, což mělo úzkou vazbu na budoucí stav počasí.

Z dochovaných pramenů je jisté, že o určité předpovědi počasí se snažili třeba už staří Babylóňané nebo Číňané, kteří si všímali například červánků na obloze. Z doby starověkého Řecka vynikal znalostmi atmosféry a dějů v nich probíhajících Aristoteles, který je i tvůrcem knihy Meteorologie. V ní například popisuje vznik rosy a jinovatky za jasných a bezvětrných nocí. Meteorologie se během středověku rozvíjela jen velmi pozvolna, větší impuls zaznamenala až v 17. a 18. století v souvislosti se zdokonalením přístrojů měřících stav atmosféry (teploměr, tlakoměr, vlhkoměr aj.). V této době vzniká taky celá řada lidových pranostik, které se na základě počasí v určitém období nebo ve specifických dnech snaží určit vývoj počasí v budoucnu. Vznikly na základě dlouhodobého a pečlivého sledování počasí a v takovém případě mají často pravdivé jádro (např. „Medardova kápě, čtyřicet dní kape“), jiné vyjadřují třeba přání, aby počasí probíhalo tak, jak má (např. „Studený prosinec zvěstuje úrodný rok“), jiné jsou vyloženě pověrčivé (např. „Dvanáct nocí a dní od Štědrého večera až do Tří králů zvěstuje prý povětrnost příštích dvanácti měsíců“).

Hlavní rozvoj meteorologie ale přišel až v 19. století, a to v souvislosti s vynálezem telegrafu (v roce 1835). Ten zprostředkoval výměnu naměřených dat o stavu atmosféry během poměrně krátké doby a umožnil studium dějů v reálném čase. Vznikly tak první metody předpovědi počasí založené na pozorování stavu atmosféry ve velké oblasti. V této souvislosti jmenujme například Francise Beauforta, který vytvořil 13dílnou stupnici síly větru, nebo námořního generála Roberta Fitzroye, který vytvořil – na svou dobu – velice moderní představu o fungování proudění v atmosféře.

Vůbec největší zlom zažila meteorologie ve druhém desetiletí 20. století. V té době se v norském Bergenu soustředila skupina špičkových meteorologů, mezi nimi byli například Bergeron, Solberg nebo Bjerknes, která založila tzv. norskou meteorologickou školu. A právě tady vznikaly pojmy, které se v meteorologii používají dodnes a které určitě každý nejednou slyšel – atmosférické fronty, cyklóny (tlakové níže), anticyklóny (tlakové výše). Genialita myšlenek autorů této koncepce vynikne, uvědomíme-li si, že v té době neměli meteorologové k dispozici prakticky žádné údaje o vertikálním stavu atmosféry s výjimkou několika málo horských stanic (a ani ty nebyly výše než ve 3,5 km). Že autoři velmi dobře zmapovali realitu, potvrdily až meteorologické družice, které nastoupily v 60. letech minulého století. Ještě než se dostaneme do moderní doby, je nutné zmínit jméno Lewis Fry Richardsona (viz obr. 1), který v roce 1922 sestavil první numerickou předpověď počasí. Několik týdnů s týmem kolegů počítali jednu jedinou předpověď – pole přízemního tlaku vzduchu na 6 hodin dopředu. Bohužel, neúspěšně. Nebylo to ale proto, že by metody Richardsona a kolegů byly chybné, ale paradoxně – spíš naopak. Ve výpočtech totiž neuplatnili filtry, které by odstranily různé a původně malé šumové složky. Ty se ale v průběhu času zvětšily natolik, že znehodnotily předpověď po-

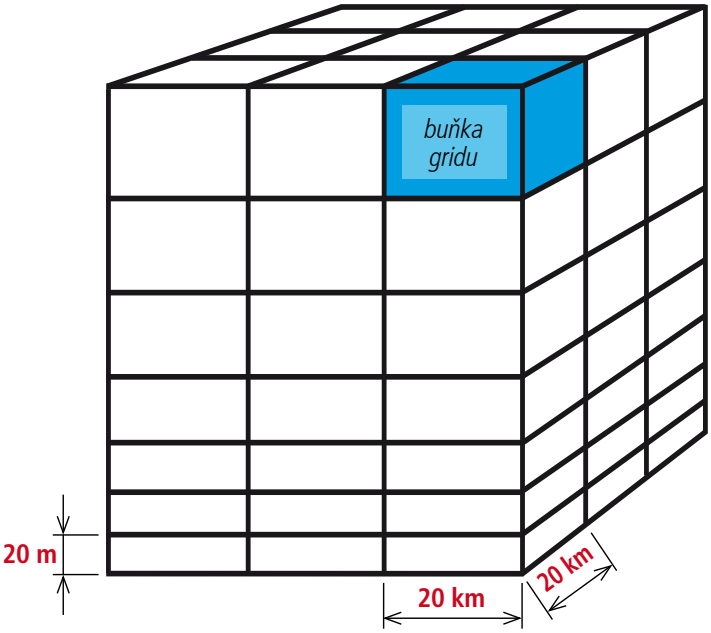


Obr. 1 – L. F. Richardson (1881–1953), autor první numerické předpovědi počasí[2]

1 *michal.zak@mff.cuni.cz*

2 *http://www.npgprints.com/image/360342/walter-stoneman-lewis-fry-richardson*

časí. Jak později dokázal P. Lynch, po aplikaci těchto filtrů byla Richardsonova předpověď naopak pozoruhodně přesná. To na pár desetiletí upozadilo numerické, tedy početní předpovědi počasí, které se do popředí dostaly až s vývojem výpočetní techniky, zejména v 60. a 70. letech 20. století.

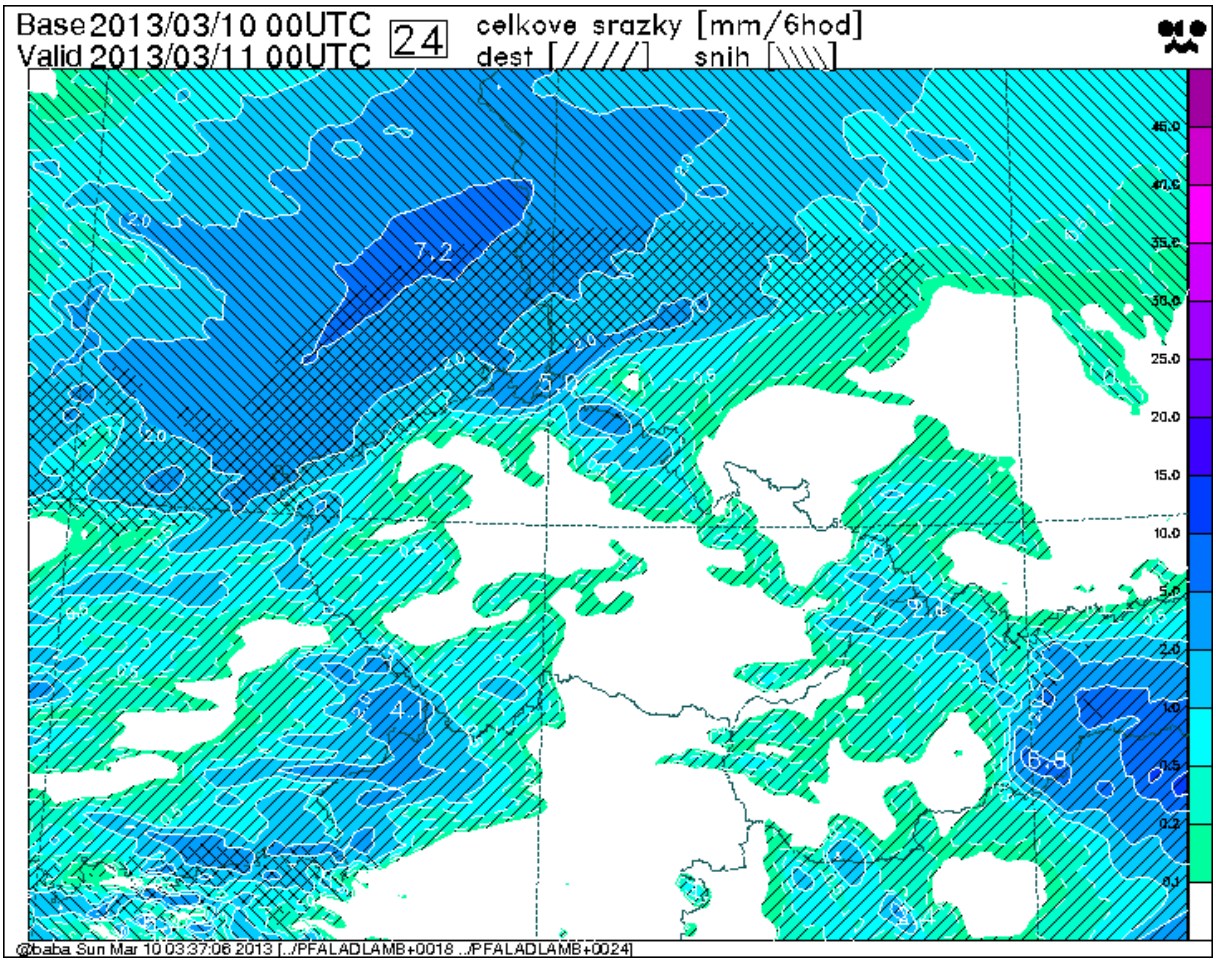


Obr. 2 – schematické znázornění sítě uzlových bodů pro výpočet modelu

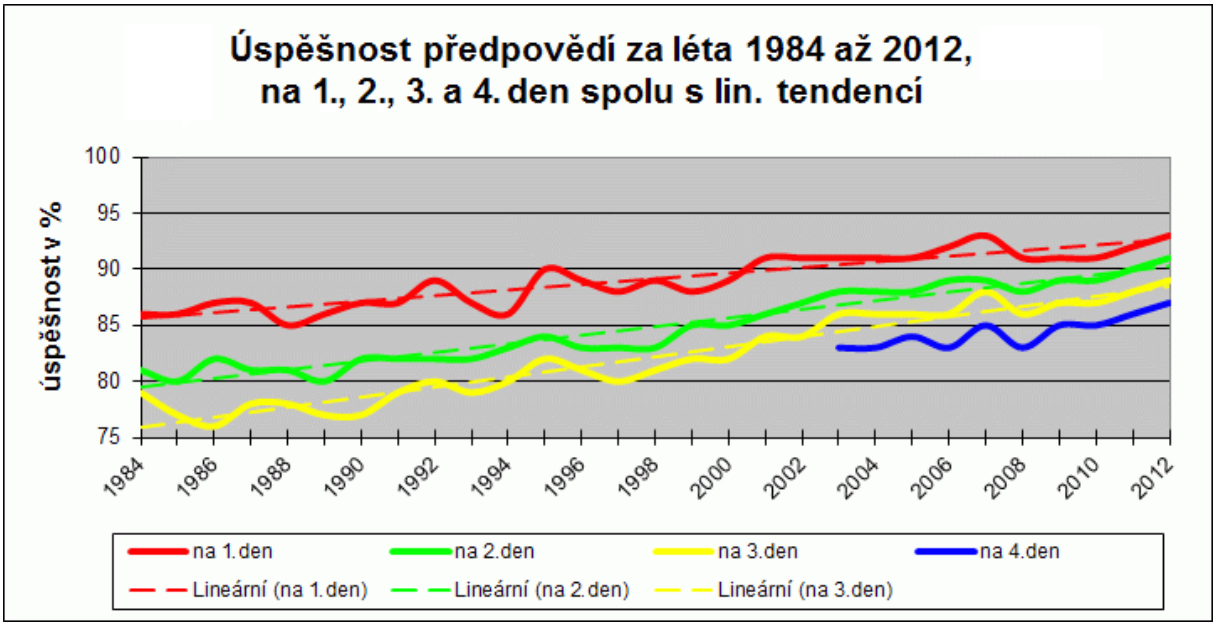
Jsou to právě numerické předpovědní metody, které dnes stojí za drtivou většinou předpovědí počasí, se kterými se můžete setkat. O co vlastně jde? Atmosféra představuje hydrodynamický systém, který lze popsat fyzikálními rovnicemi. Reálnou atmosféru si můžeme nahradit modelem ve formě sítě uzlových bodů, gridů (jejichž vzdálenost může být různá jak v horizontálním, tak i ve vertikálním směru – viz obr. 2), a v nich pak řešíme složitý systém parciálních diferenciálních rovnic popisujících chování atmosféry. Jejich integrací získáme budoucí stav atmosféry, tedy budoucí počasí. Pro řešení se používá systém obsahující pohybové rovnice, rovnici kontinuity (včetně rovnice kontinuity pro vodní páru), stavovou rovnici a určitý tvar 1. hlavní věty termodynamické. Samozřejmě, vlastní systém a především způsob řešení je však velice složitý a výrazně přesahuje možnosti tohoto článku. Model atmosféry, kterým se počasí počítá, může být buď globální, který zahrnuje příslušnou hemisféru nebo celou zeměkouli, tak i lokální, který se řeší pouze na omezené oblasti (například o velikosti poloviny Evropy).

Každý model je nejprve nutné „nakrmit“ daty o aktuálním počasí. Platí, že čím přesněji známe výchozí stav, tím vyšší je pravděpodobnost, že výsledná předpověď počasí bude úspěšná. Do modelů přitom nevstupují jen data z pozemních meteorologických stanic, ale velkou měrou i data z meteorologických družic, dále se používají data aerologická naměřená meteorologickými balóny, data z letadel nebo radarů. Následně je nutné data vzájemně vybalancovat, aby „seděla“ modelu (uvědomme si, jak se liší formát, časové i prostorové rozlišení z jednotlivých měření – například pozorovatel měří teplotu v konkrétním bodě v jedné výšce, zatímco družice poskytuje informace o teplotě v určité vrstvě tlusté několik set metrů a v horizontálním rozlišení řádově kilometrů). Poté už může proběhnout integrace modelu, tedy výpočet budoucího stavu atmosféry. Přitom tento výpočet se obvykle provádí v časovém kroku řádově několika minut. Pokud jde o horizontální rozlišení modelů, pohybuje se od několika desítek kilometrů u modelů globálních až po jednotky kilometrů u modelů lokálních. Například u dobře známého, v Česku počítaného modelu ALADIN, který je modelem lokálním, je rozlišení 4,7 km a vše se počítá v 87 vertikálních hladinách (příklad předpovědi na obr. 3). Vzhledem k rozsahu a náročnosti početních operací se výpočty odehrávají na superpočítačích, už zmíněný ALADIN se nyní počítá na superpočítači NEC-SX9 a za pouhý den vyprodukuje neuvěřitelných 300 gigabytů výsledků.

Na tomto místě považuji za vhodné se zmínit o problémech numerických předpovědí počasí. Už jsme se zmínili o problematice různých typů dat, se kterými se musí model vypořádat a které můžou v některých případech být zdrojem určitých nejistot. Důležitou otázkou jsou procesy, které jsou natolik malé, že je modely nejsou schopny vzhledem ke svému rozlišení zachytit. Například kupovité oblaky mají rozměry jednotky kilometrů nebo i stovky metrů, což je pod hranicí rozlišení modelů. Přitom ale můžou v důsledku svého působení být velice důležité pro vývoj počasí. Proto je nutné tyto jevy tzv. parametrizovat, tedy na základě spočtených proměnných z modelů dopočítat tyto tzv. podměřítkové jevy (běžně se tak počítají srážky, vítr ve výšce 10 m nad zemí i teploty vzduchu u země).



Obr. 3 – předpověď srážek podle modelu ALADIN počítaného v ČHMÚ[3]

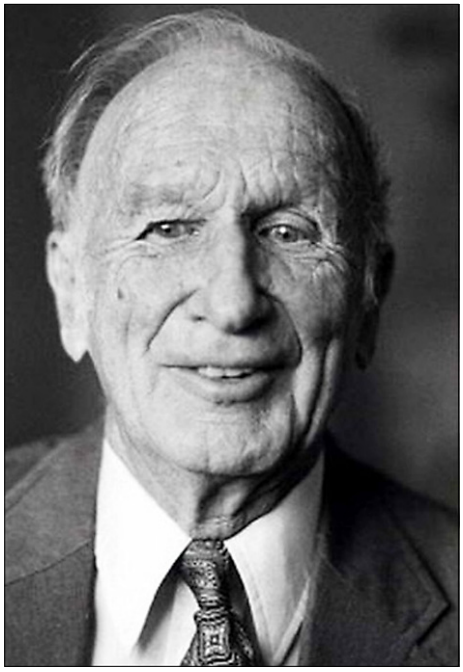


Obr. 4 – úspěšnost předpovědí počasí podle ČHMÚ[3]

3 *zdroj: http://portal.chmi.cz*

Proč vlastně nejsou předpovědi počasí přesné? Z několika důvodů. Předně je třeba si připomenout, že se počítá na modelu, který se od skutečné atmosféry liší a má omezenou přesnost. Dále, neznáme úplně přesně výchozí stav atmosféry. Ani atmosférické procesy nejsou popsány úplně dokonale, stále zůstávají oblasti, kde meteorologie má znalosti pouze přibližné. Jinými slovy, domnívat se, že bude možné získat stoprocentní předpověď počasí, není oprávněné, spolehlivost předpovědi se ztrácí v závislosti na povětrnostní situaci po několika dnech. Pokud jde o vlastní úspěšnost předpovědí počasí, tak na 5 dnů dopředu bývá velice solidní, pak začíná klesat. Například v Česku, kde je garantem odborných předpovědí počasí Český hydrometeorologický ústav, se přesnost předpovědi na následující den pohybuje mezi 90 a 95 procenty, na druhý a třetí den pak kolem 90 procent, na den čtvrtý to bývá kolem 85 (viz obr. 4). Předpovídat počasí má za současných znalostí o atmosféře a stavu výpočetní techniky smysl asi na 10 dnů dopředu, ve zcela výjimečných situacích na 12 až 14 dnů, pro delší období už je pravděpodobnost úspěšné předpovědi výrazně nižší.

Když už hovoříme o úspěšnosti a neúspěšnosti předpovědí, stojí zmínit ještě jednu záležitost, a tou je deterministický chaos, resp. chaotické chování, které je právě atmosféře vlastní. Tuto vlastnost atmosféry objevil před víc než 50 lety Edward Norton Lorenz (obr. 5). V podstatě jde o to, že výsledné chování atmosféry je velice citlivé na počáteční podmínky, kdy i drobná změna ve výchozím stavu může vést k velice odlišným předpovědím počasí. Možná jste slyšeli o tzv. efektu motýlích křídel, kdy zamávání křídly motýla např. v Brazílii může vést ke vzniku tornáda v Texasu. Toto přirovnání je samozřejmě přehnané, nicméně vyjadřuje skutečnost, že případné chyby, které do modelu zaneseme v podobě nepřesného výchozího stavu počasí, během času exponenciálně narůstají, až výslednou předpověď naprosto znehodnotí. Navíc E. N. Lorenz zjistil, že vzhledem k chaotické povaze chování atmosféry přitom nelze ani při extrémně přesných výchozích datech předpovědět dlouhodobé chování atmosféry – jinými slovy, stoprocentní předpověď počasí je věc, na kterou nikdy nedosáhneme.

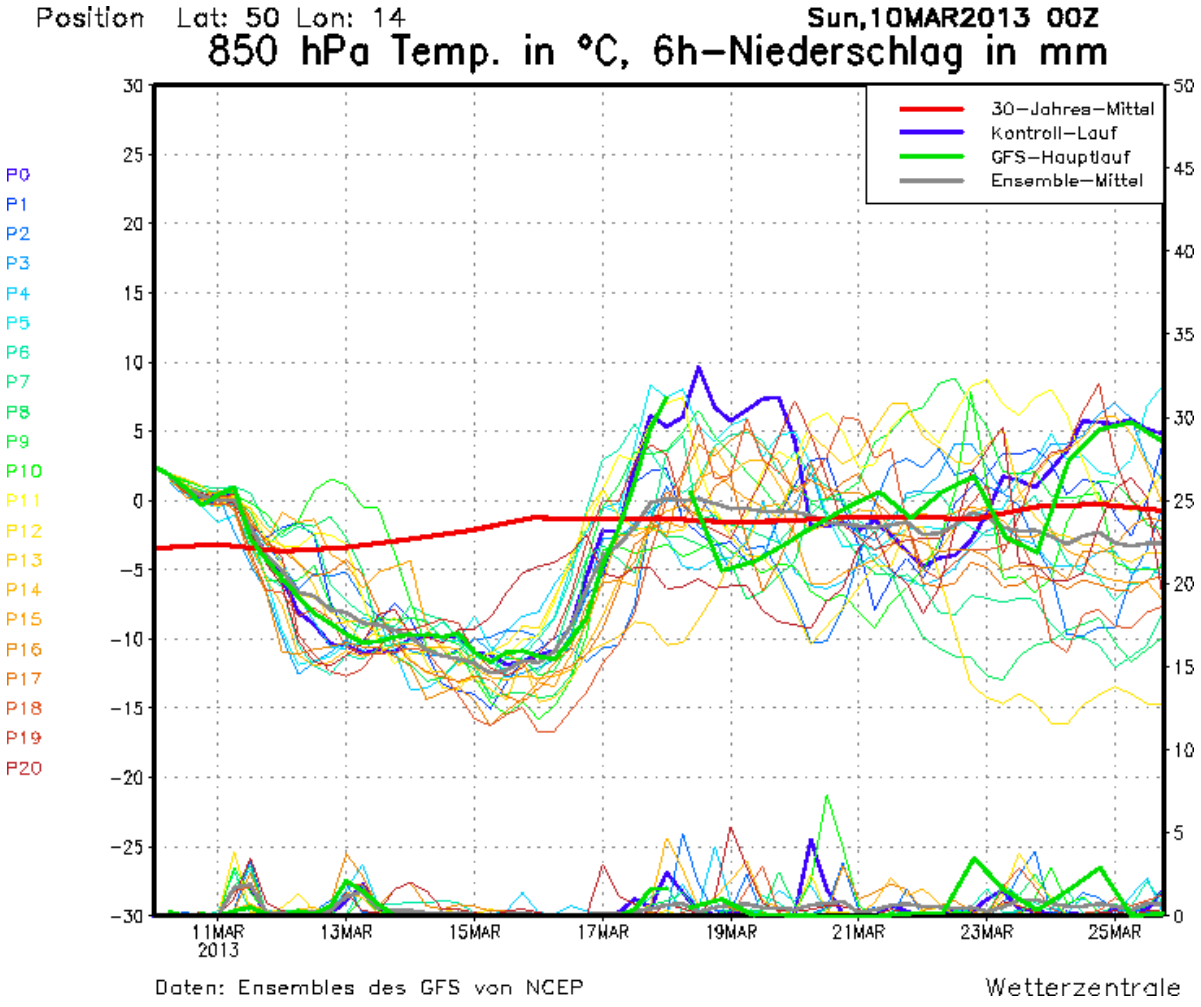


Obr. 5 – Edward Norton Lorenz (1917–2008)[4]

Moderní meteorologie se s chaotickou podstatou chování atmosféry vypořádává pomocí tzv. ensemblových předpovědí počasí. V tomto případě se počítá více simulací vývoje počasí s nepatrně rozdílnými počátečními podmínkami. Výsledky v řadě modelových běhů představují sadu předpovědí (proto ensemble), které se mezi sebou více či méně vzájemně odlišují. Pokud modelové běhy k určitému časovému okamžiku vykazují stejné či podobné stavy atmosféry, pak je modelová simulace použitelná pro předpověď počasí (nic to ale nevypovídá o tom, bude-li nakonec úspěšná). Velké odchylky mezi jednotlivými modelovými běhy ovšem signalizují, že přesná předpověď není možná. Příklad ensemblové předpovědi je na obr. 6 – jsou zde uvedeny jednak předpověď teploty v hladině 850 hPa a srážek podle modelu GFS pro uzlový bod se souřadnicemi 50 ° s.š. a 14 ° v.d. Zobrazeny jsou jednak tzv. kontrolní běh (modře), dále hlavní běh (zeleně a tlustě), jehož výsledky se standardně používají pro konstrukci předpovědních map, a dále 20 simulací (tence), jejichž průměr je pak znázorněn tlustě šedou čárou. Pro ilustraci je uveden i dlouhodobý průměr teploty v hladině 850 hPa pro danou lokalitu a čas. To samé platí pro úhrn srážek. Je vidět, že pokud jde o teplotu, je zhruba do 17. března model použitelný, pak už je nejistota předpovědi značná. U srážek je situace podobná.

Pomocí ensemblových předpovědí počasí se získává předpověď pravděpodobnostní, která vyjadřuje, s jakou pravděpodobností se daný scénář vývoje počasí bude odehrávat. Její příklad je pro město Reading v Anglii uveden na obr. 7. Jde o pravděpodobnostní předpovědi počasí Centra pro střednědobou předpověď ECMWF a pro

4 http://31416feenelcaos.files.wordpress.com/2011/05/edward-norton-lorenz.jpg

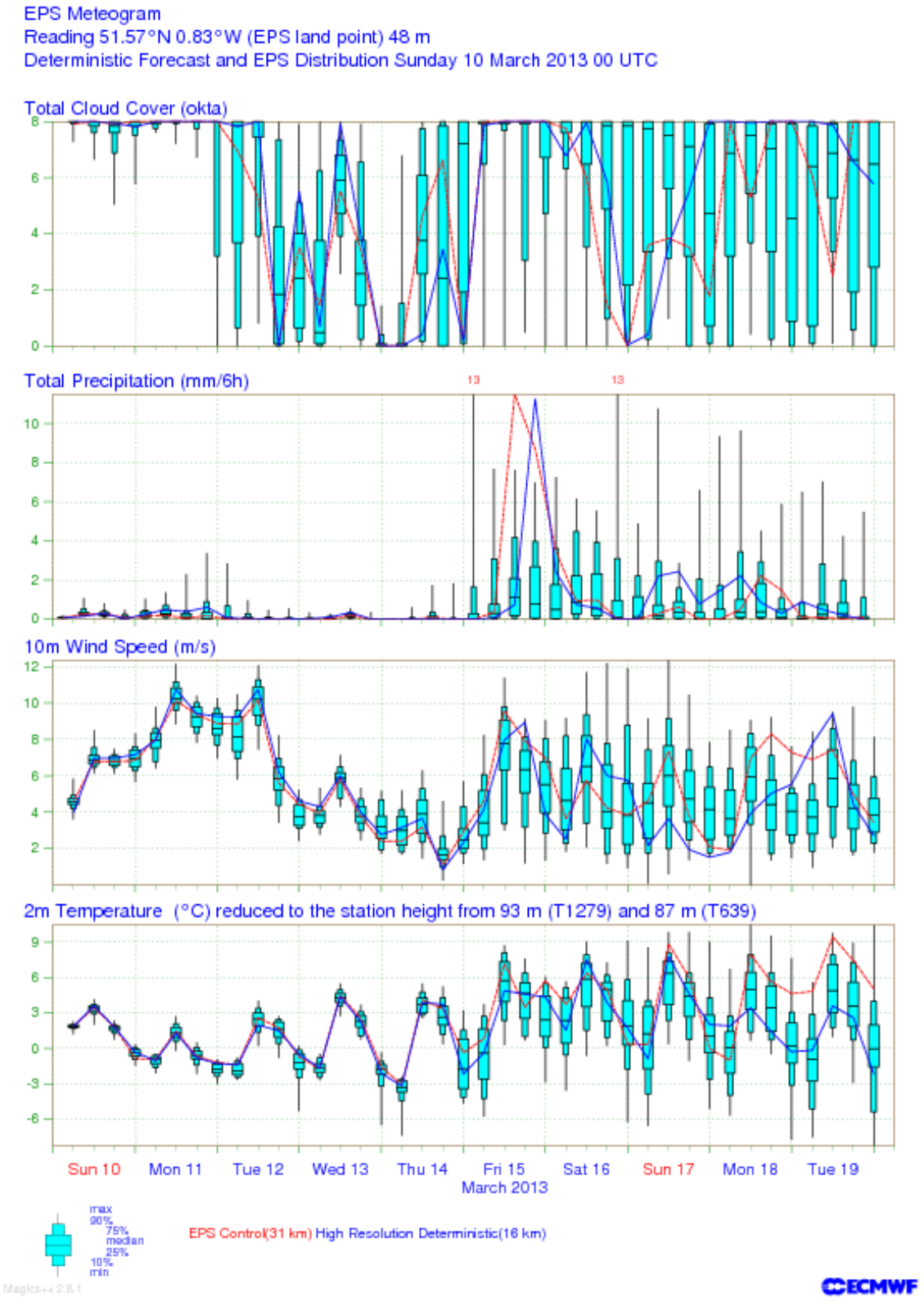


Obr. 6 – ensemblová předpověď teploty v hladině 850 hPa a srážek podle modelu GFS pro uzlový bod v blízkosti Prahy[5]

různé prvky je uveden vývoj pravděpodobnostních rozložení jednotlivých ensemblů ve formě tzv. box plotů. Z nich je možné si udělat představu o tom, jakých hodnot s jakou pravděpodobností jednotlivé členy v daném čase nabývají. Pochopitelně platí, že čím větší je rozptyl okrajových hodnot, tím méně se na danou předpověď lze spolehnout. Červeně a tečkovaně je znázorněn tzv. kontrolní běh s rozlišením 31 km, tmavě modře pak běh s vysokým rozlišením 16 km.

Jak je vidět, atmosféra rozhodně není záležitostí jednoduchou a kvalitní předpověď jejího chování, tedy předpověď počasí, vyžaduje složitý systém co nejpřesnějších pozorovacích metod a numerického modelování. Určitě lze konstatovat, že dnešní předpovědi počasí jsou na velmi vysoké úrovni, i když samozřejmě mediální (dez)interpretace mohou tento pocit poněkud snižovat. A ještě jednu důležitou poznámku na závěr – i přes zlepšující se skóre předpovědních modelů je stále potřeba meteorologa, který interpretuje a porovnává různé numerické předpovědi a také využívá svoji zkušenost a rutinu (případně pohled z okna), aby vytvořil co nejpravděpodobnější a tedy co nejlepší předpověď počasí.

5 *http://www.wetterzentrale.de/pics/MS_1550_ens.png*



Obr. 7 – výstup pravděpodobnostní předpovědi počasí Centra pro střednědobou předpověď ECMWF pro město Reading v Anglii, znázorněny jsou: předpověď celkové oblačnosti v osminách, 6hodinový úhrn srážek, rychlost větru v 10 m a teplota vzduchu ve 2 m nad zemí.[6]

6 *http://www.ecmwf.int/samples/d/banner/page.html*

Historie a elementární základy teorie barev II.

Václav Kohout[1], Nakladatelství Fraus, s. r. o., Plzeň

Dostává se vám do rukou druhý díl série článků zabývajích se teorií barev. Série si neklade za cíl být vědecky přesnou a zcela konzistentní teorií. Jedná se spíš o souhrn dílčích informací tvořících základní přehled, který může být ve většině případů předložen běžnému žákovi druhého stupně základní školy takovým způsobem, že jej bez problémů pochopí. Problematika barev je na rozhraní fyziky, informatiky a výpočetní techniky, přírodopisu, výtvarné výchovy a případně i dalších vyučovacích předmětů. Poznatky, které jsou ve výuce běžně zmiňovány, jsou zde doplněny a rozšířeny odbornějšími informacemi z oboru kolorimetrie. Na kolorimetrický přehled dále naváže článek popisující mezipředmětové výukové téma „Barvy kolem nás", které bylo na jeho základě vytvořeno, a článek popisující a hodnotící ověření tohoto tématu ve výuce.

RGB, CMY(K), tristimulus a jeho objev

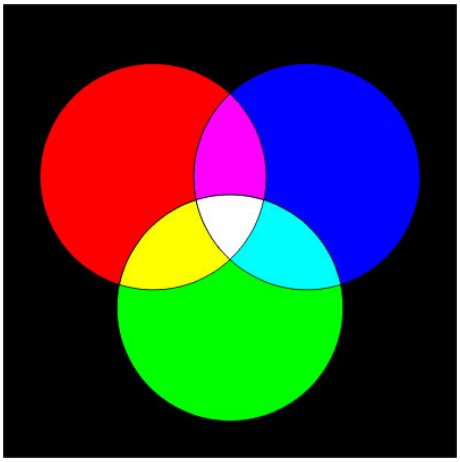
Maxwell, Young a Helmholtz

Jak bylo zmíněno v první části článku, J. C. Maxwell ukázal, že světlo je elektromagnetické vlnění a popsal souvislost barvy světla s jeho vlnovou délkou. Maxwell se však také zabýval vnímáním barev lidským okem a sestrojil roku 1861 přístroj, pomocí kterého ověřil teorii, že všechny viditelné barvy je možné popsat jako kombinaci tří základních barev. S touto teorií přišel Thomas Young (1773–1829) již roku 1801 na základě úvahy, že oko nemůže obsahovat specifické receptory pro všechny barvy vnímaného světla. Nezpochybnitelné zásluhy na popisu tříbarevného vidění lidského oka má také Herman von Helmholtz (1821–1894), který dřívější poznatky systematizoval, podrobně popsal myšlenku receptorů červené, zelené a modré barvy v lidském oku a první načrtl průběhy jejich spektrálních křivek.

Newton zaměřil svou pozornost na zdroj světla a jeho barevné vlastnosti, oproti tomu Young, Helmholtz, a Maxwell zaměřili svoji pozornost na pozorovatele – člověka a jeho oko. Oko je specifickým a velmi efektivním nástrojem, který umí zpracovat informace o všech viditelných barvách pomocí pouhých tří druhů receptorů.

Barvy RGB

Postupně se dostáváme k popisu barvy pomocí hodnot RGB, které jsou známé zejména z práce na počítači. Červená (red = R), zelená (green = G) a modrá (blue = B) jsou aditivní primární barvy. Každou barvu můžeme nasimulovat přidáváním odpovídajícího množství červeného, zeleného a modrého světla (aditivní = související se sčítáním, skládáním). Bílou získáme, pokud je množství červeného, zeleného a modrého světla vyvážené a má maximální intenzitu.



Obr. 8 – aditivní míchání barev

Jednou z výhod RGB je to, že představuje vhodný model pro konstrukci sériově vyráběných zařízení, která buď napodobují činnost lidského oka (skenery, kolorimetry, digitální fotoaparáty), nebo se snaží vyvolat v lidském oku dojem, že pozorovatel vnímá různé pestré, okem viditelné barvy (např. na monitorech a televizi). Monitor počítače například simuluje různé barvy tím, že v něm září s různou intenzitou červené, zelené a modré luminofory. Skener napodobuje barevné vidění tím, že měří intenzitu červeného, zeleného a modrého světla odraženého od snímané předlohy.

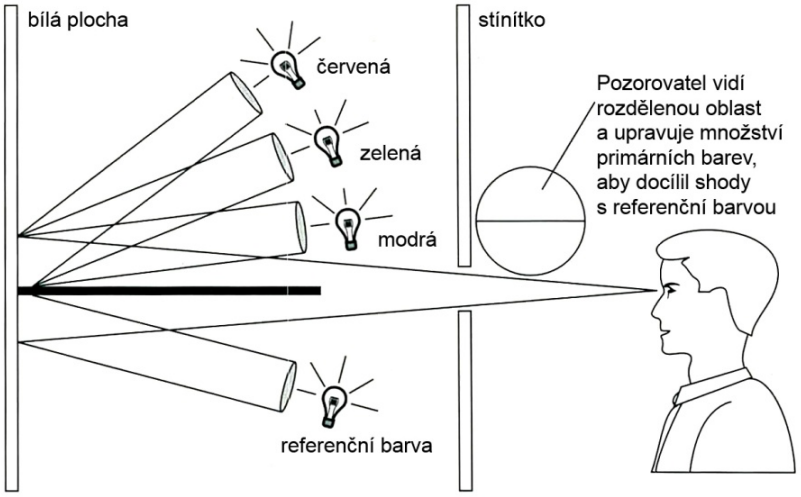
Pokusy s vnímáním barev

Většina experimentů s trojbarevným lidským viděním je založena na nějaké variantě jednoduchého zařízení znázorněného na obr. 9. Jedna část projekční plochy je osvětlena světlem hledané (cílové, referenční) barvy, druhá

1 kohout@fraus.cz

část světlem smíchaným ze tří barevných zdrojů. Každý ze tří zdrojů se nazývá stimul a u pečlivě prováděných experimentů se jedná o světla jedné vlnové délky.

Testovaný subjekt nastavuje intenzitu všech tří světel tak, aby směs barevných světel odpovídala svou barvou hledané referenční barvě.

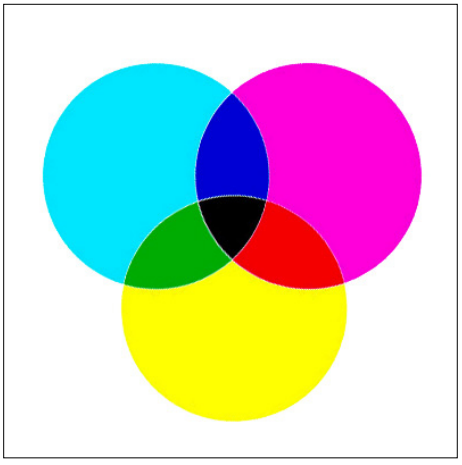


Obr. 9 – experiment s vnímáním barev[2]

Experimenty ukázaly, že pomocí jisté kombinace tří primárních barev (obvykle se jednalo o nějaké odstíny červené, zelené a modré) je možné docílit vjem odpovídající většině hledaných barev, avšak ne každé takové barvě. Pokud ale byla k hledané barvě přimíchána jedna z primárních barev, bylo možné dosáhnout shody pro libovolnou hledanou barvu. Světlo přidané k hledané barvě je možné chápat jako odečtené od zbývajících dvou primárních barev a je možné tak vytvořit zvláštní teoretickou představu o záporném množství světla.

Barvy CMY

Přijmeme-li RGB jako nejjednodušší model pro popis barev, pak CMY je jeho přímým protikladem. CMY vychází z opačného předpokladu než RGB. Nezačínáme s neosvětlenou (černou) projekční plochou, ze které bychom přidáváním barevných RGB světel dostali bílou, ale máme bílý papír a snažíme se z něj udělat černý. Jedná se o základní postup, který je využíván při barevném tisku a v malířství.



Obr. 10 – subtraktivní míchání barev

Z původní bílé barvy musíme odečíst odpovídající množství primární červené, zelené a modré. V případě barevného tisku odečteme červenou z bílé stránky pomocí pigmentu (nazývaného také často inkoust), který propustí všechny barvy s výjimkou červené. Jak vypadá „nečervený“ inkoust? Jedná se o barvu, kterou nazýváme azurová (cyan = C). Analogicky můžeme purpurovou (magenta = M) označit jako „nezelený“ inkoust a žlutou (yellow = Y) za „nemodrý“ inkoust.

Azurovou, purpurovou a žlutou barvu označujeme souhrnně jako subtraktivní primární barvy, protože při jejich míchání vycházíme ze světla bílé barvy a postupně z něj odebíráme světlo určitých vlnových délek (subtrakce = odčítání, odebírání).

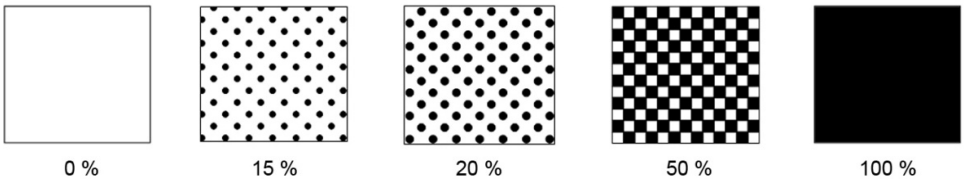
Je užitečné připomenout, že převody mezi RGB a CMY a zpět jsou velice jednoduché. Ve skutečnosti je možné CMY považovat za speciální formu RGB, takovou, která používá záporné hodnoty červené, zelené a modré. Zásadním závěrem je, že tři primární barvy jsou patrně pro popis barvy dostačující. Lidské oko nám zprostředkovává vnímání všech barev a ve skutečnosti vystačí s pouhými třemi barvami kombinovanými v různých poměrech.

CMY(K) a některé poznatky z oblasti barevného tisku

Plnobarevný tisk je nejčastěji založen právě na použití azurové, purpurové a žluté barvy (inkoustu), které hrají roli červeného, zeleného a modrého filtru. Odečítají, neboli odstraňují z bílého světla odraženého od papíru světlo

2 *Převzato z: BUNTING, F. et al.* Colortron: User Manual*. 1st Edition. Larkspur (California, USA): Light Source Computer Images, Inc., 1994.*

různých vlnových délek. Množství světla filtrované každým inkoustem můžeme ovlivňovat tím, že část světla se od pozadí (papíru) odrazí nefiltrovaná. Inkoust nenaneseme na papír v plné ploše, ale pouze v některých místech daných tzv. tiskovým rastrem. Pokud tiskový rastr pokrývá např. pouze 20 % potištěné plochy a na 80 % je vidět bílý papír, uvidíme výrazně světlejší odstín dané barvy, viz obr. 11.

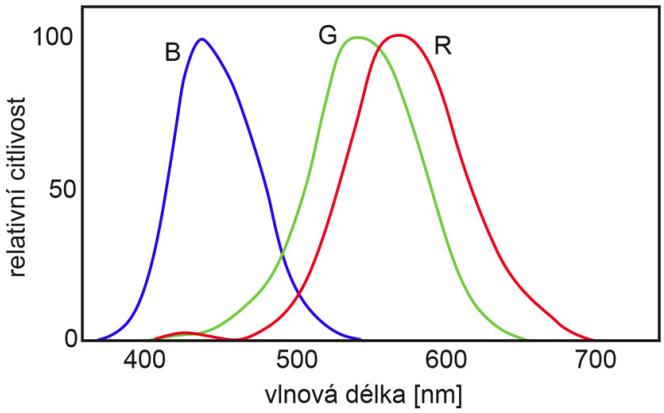


Obr. 11 – polotóny a tiskový rastr

V ideálním případě bychom měli při smíchání stejných odstínů azurové, purpurové a žluté dostat neutrální odstíny šedé. Při smíchání 100 % inkoustu všech barev bychom měli získat černou. Vzhledem k tomu, že ani reálné inkousty ani reálný papír nejsou ideální, není možné vyrobit vše tak, aby např. azurová odfiltrovala pouze červenou a neodfiltrovala žádnou zelenou nebo modrou a aby se barvy při nanášení na papír mísily ideálním způsobem. Při tisku barevné plochy, která obsahuje 100 % azurové, purpurové i žluté, nedostaneme čistě černou. Obvykle dostaneme hodně tmavou, špinavě hnědou barvu s nádechem do červena nebo do žluta. Abychom získali kvalitní černou a šedou barvu, barvu pro tisk textu, a také co nejlevnější černobílý tisk, používá se čtvrtá černá barva. Výsledná kombinace se však neoznačuje jako CMYB (black = B), protože B je již používáno pro označení modré. Tiskaři používají pro černou název „klíčová“ (key = K) a odtud pochází známá zkratka CMYK, která označuje nejrozšířenější plnobarevnou formu tisku – čtyřbarevný tisk. Existují však také tiskové technologie, které používají více primárních barev.

Oko a další zařízení pro vnímání barev

Young, Maxwell a Helmholtz v podstatě popsali lidské oko jako specifické RGB zařízení. Znamená to, že jsou v něm tři typy barvocitlivých receptorů zvaných čípky – jeden typ čípků je nejcitlivější v červené oblasti spektra, druhý v zelené oblasti a poslední v modré oblasti spektra. Pokud zobrazíme závislost citlivosti těchto tří druhů čípků na vlnové délce, dostaneme spektrální křivky podle obr. 12.

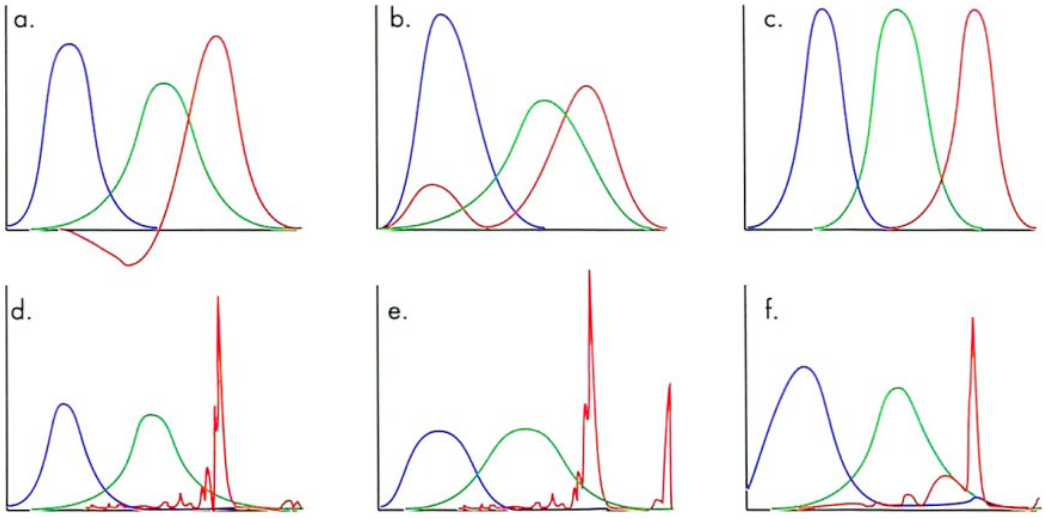


Obr. 12 – citlivost jednotlivých druhů čípků RGB[3]

Ve skutečnosti je konkrétní způsob odezvy našeho orgánu zraku na tři primární barvy závislý na spoustě dalších faktorů. Kromě spektrální citlivosti jednotlivých druhů čípků závisí také na hustotě zastoupení čípků na sítnici oka, na způsobu, jak jsou signály z barvocitlivých receptorů přenášeny nervovými drahami do mozku a jak jsou v něm vyhodnocovány. Pro přesné měření poměru tří primárních barev, které odpovídají podnětu dané barvy u konkrétního jedinečného pozorovatele, můžeme použít experimenty zabývající se vnímáním barev v obdobném uspořádání, jaké bylo popsáno výše.

Podobně jako můžeme nakreslit spektrální křivky pro tři RGB druhy receptorů v lidském oku, můžeme je nakreslit pro všechna RGB zařízení, kterými jsou skenery, digitální fotoaparáty a monitory. Výsledkem je široká paleta trojic křivek (funkcí) popisujících odezvu receptorů „pozorovatele“ na barevné světlo jednotlivých vlnových délek. Na grafech na obr. 13 jsou funkce barevné odezvy lidského oka a dalších RGB zařízení. Každá trojice křivek popisuje hodnoty R, G a B, ale pro každé ze zařízení existuje jiná definice, jak tyto hodnoty interpretovat.

3 *Podle: HUNT, R. W. G.* The reproduction of Colour. *6th Edition, Chichester (West Sussex, England, GB): John Wiley & Sons Ltd., 2004.*



Obr. 13 – a. spektrální odezva lidského oka (záporné hodnoty u červené souvisí s efektem popsaným u pokusů s vnímáním barev, viz výše), b. spektrální odezva oka standardního pozorovatele (bude podrobněji zmíněn v pokračování článku), c. spektrální odezva pro plochý skener, d. e. f. spektrální emisní křivky tří různých monitorů[4]

Je důležité si uvědomit, že každé RGB zařízení typu „pozorovatel" má někdy mírně, jindy ale i zásadně odlišnou odezvu na primární barvy. Definice RGB není pevným standardem, vždy závisí na konkrétním zařízení.

Vidění lidského oka

Světlo vstupuje do oka průhlednou rohovkou a poté prochází zornicí, která ovlivňuje množství světla, jež vstupuje dovnitř oka. Za zornicí se nachází spojná čočka, která zaostřuje vstupující paprsek světla na sítnici. Sítnice se nachází v zadní části oka, je to vrstva, ve které jsou jednotlivé světlocitlivé buňky neboli fotoreceptory. Známe dva druhy těchto buněk – tyčinky a čípky. Tyčinky jsou mnohem citlivější za nedostatku světla (při nočním vidění), ale není možné pomocí nich vnímat barvy. V tyčinkách se nachází světlocitlivá bílkovina – fotopigment zvaný rodopsin. Čípky jsou méně citlivé a vidění pomocí čípků se uplatňuje za běžného denního světla. Místo rodopsinu obsahují čípky tři druhy iodopsinu, které jsou citlivé na různé oblasti viditelného spektra – maxima citlivosti odpovídají červené, zelené a modré barvě. Každý čípek obsahuje jeden z těchto tří fotopigmentů, proto rozlišujeme R, G a B čípky. Existence těchto tří druhů čípků je podstatou lidského barevného vidění.

Mnoho lidí (častěji muži než ženy) je postiženo nějakou formou tzv. barvosleposti. Obvykle se jedná o nedostatek, většinou však pouze částečný, jednoho ze tří typů barvocitlivých čípků.

Pojem tristimulus

RGB a CMY jsou příklady zápisu libovolné barvy spektra pomocí tří hodnot. Jsou to příklady zápisu barvy pomocí tzv. tristimulu. Prakticky každý způsob měření nebo vnímání barev včetně pozorování lidským okem je založen na nějakém tristimulu. Jedinou podstatnou výjimkou jsou spektrální data. Tristimulus je takový popis barvy, který k určení barvy používá tři hodnoty, podněty neboli stimuly. Nemusí to nutně být tři primární barvy. Jak bude zmíněno v další části, je možné barvu popsat například také pomocí tří jiných specifických charakteristik – odstín, sytost a jas. Tyto charakteristiky můžeme také označit jako stimuly, i když se nejedná o primární barvy. Oproti spektrálním datům mají tristimuly nezanedbatelné výhody. Vycházejí z modelu lidského tříbarevného vidění a barvy, které jsou pomocí nich popsané, mohou být zobrazeny ve třírozměrném prostoru – viz následující kapitola.

Tristimuly mají přirozeně také své nevýhody. Primární barvy červená, zelená a modrá nejsou definovány jednoznačně, označují vlastně poměrně široké oblasti spektra. Přesná vlnová délka nebo soubor vlnových délek pro

4 *Převzato z: FRASER, B. – MURPHY, C. – BUNTING, F.* Správa barev: Průvodce profesionála v grafice a pre-pressu. *1. vydání. Brno: Computer Press, 2003.*

primární barvy závisí na konkrétním zařízení. Existuje mnoho souborů primárních barev a tím i mnoho možných barvových prostorů. Další nevýhodou je, že popis barvy pomocí tristimulu je závislý nejen na vlastnostech povrchu zkoumaného tělesa, ale také na vlastnostech zdroje světla, které na povrch dopadá.

Barvový prostor

Jednou z výhod popisu barvy pomocí tristimulu je, že barva může být zobrazena ve třech rozměrech. Každá barva pak může být reprezentována jednoznačným místem v prostoru, pokud použijeme hodnoty tří stimulů jako souřadnice ve třech osách. Takový prostor nazýváme barvový prostor. (Anglické colour space je občas překládáno také jako barevný prostor, domnívám se ale, že termín barvový prostor přesněji vystihuje podstatu daného pojmu.) Mezi jednotlivými barvovými prostory je možné barvy převádět pomocí matematických transformací. Barvový prostor je jedním z typů ještě obecnějšího konceptu – barvového modelu.

HSB a související popisy barev

V této kapitole se budeme zabývat barvovým modelem HSB, který popisuje barvu pomocí hodnot odstín (hue = H), sytost (saturation = S) a jas (brightness = B). Nejdříve se však budeme věnovat historickému předchůdci modelu HSB, kterým je katalogizační systém barev Alberta Munsella – Hue / Value / Chroma (odstín / hodnota / barevnost).

Systém Alberta Munsella

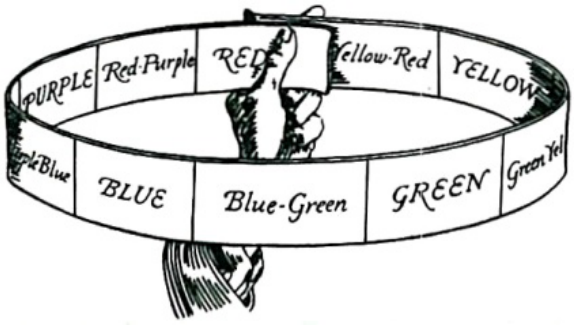
Zatímco Helmholtz se zabýval měřením spektrální odezvy lidských fotoreceptorů a sestrojováním prvních spektrálních křivek pro tři typy barevných receptorů v lidském oku, umělec Albert H. Munsell (1858–1918) zaujal k nauce o barvách zcela jiný přístup. Munsell se nezabýval fyziologií barevného vnímání, ale zanalyzoval vztahy mezi jednotlivými barvami. Sestavil systém třídění a popisu barev založený na lidském vnímání rozdílů a vztahů mezi barvami. Vyvinul ucelený systém, pomocí něhož je možné pracovat s takovými pojmy, jako jsou doplňkové barvy, vyvážení barev a barevné kombinace.

Munsellův systém stojí za zmínku především z následujících důvodů:

- Odděluje složku nezávislou na barvě, kterou je jas (Munsell jej nazývá hodnota), od dvou složek přímo popisujících barevnost, jimiž jsou odstín (Munsell používá stejný název) a sytost (tu Munsell nazývá barevnost). To umožňuje zkoumat barvy v pouhých dvou rozměrech, v podobě barevného kruhu na papíře.
- Je konzistentní z hlediska vnímání lidským okem. Vzdálenosti mezi barevnými vzorky v katalogu odpovídají subjektivně vnímaným rozdílům mezi barvami.
- Poskytuje pro komunikaci o barvách jasný a jednoznačný zápis. Místo vágních termínů typu „meruňkově oranžová“ a „ocelově modrá“ má každá barva v Munsellově systému své konkrétní místo.
- Je dodnes široce využívaný.

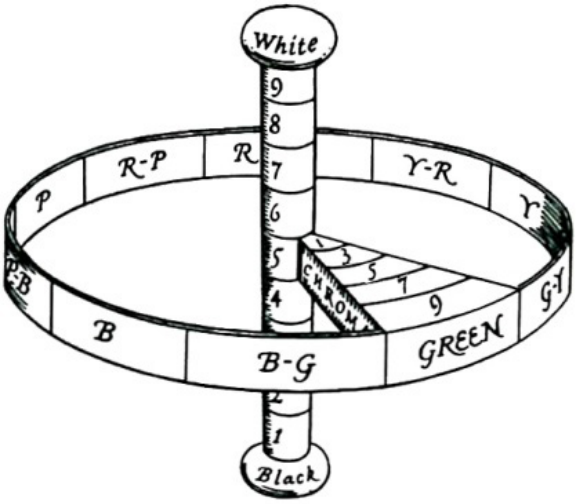
Munsellův zápis barvy

Munsell začal tím, že vzal pás viditelného spektra a stočil ho do kruhu, takže červená barva se ocitla vedle fialové. Potom rozdělil Munsell barevný kruh na deset oblastí (použil v té době moderní metrický základ, oproti Newtonovým sedmi barvám) a pojmenoval pět hlavních odstínů – červená (red = R), žlutá (yellow = Y), zelená (green = G), modrá (blue = B), fialová (purple = P) – a pět odstínů mezilehlých – žlutočervená (YR), zelenožlutá (GY), modrozelená (BG), fialovomodrá (PB) a červenofialová (RP). Uvedených deset



Obr. 14 – Munsellova souřadnice odstín (hue)[5]

5 *Převzato z: BUNTING, F. et al.* Colortron: User Manual*. 1st Edition. Larkspur (California, USA): Light Source Computer Images, Inc., 1994.*



Obr. 15 – Munsellovy souřadnice hodnota (value) a chroma (barevnost)[6]

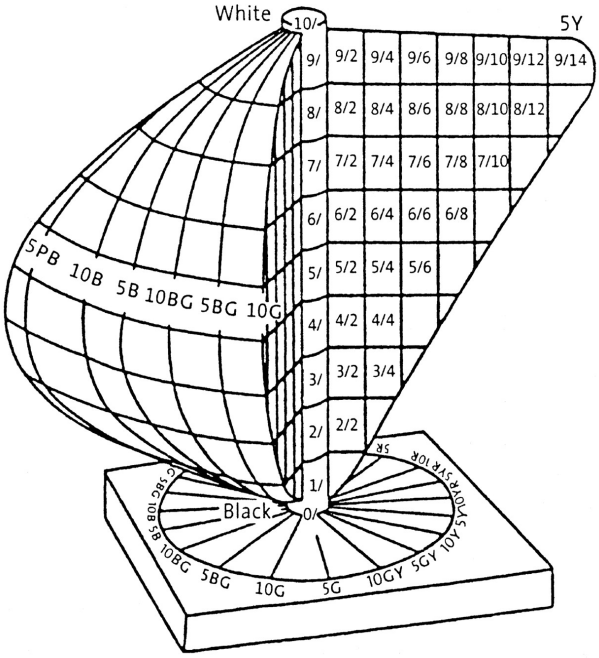
sah barevnosti pro různé odstíny upravil. Vzdálenost od osy představuje Munsellovu souřadnici barevnost.

Konkrétní barva je v Munsellově zápisu identifikována odstínem, který je následován hodnotou a barevností oddělenými lomítkem. Barva „5R 9/3" má červený odstín, je hodně jasná, nepříliš sytá, tj. růžová. „10RP 3/10" je červenofialová barva, spíše temná, velmi sytá, tj. intenzivní vínová barva.

Munsell také upozornil, že maximální vnímatelná sytost se liší odstín od odstínu, a proto rozsah barevnosti není pro všechny odstíny stejný. Těleso viditelných barev netvoří kouli, není ani rotačně symetrické, je výrazně asymetrické.

oblastí rozdělil dalším desetinným dělením na podoblasti označené číslicí před písmenem barvy. 5Y tedy označuje pátý (prostřední) odstín v oblasti žluté barvy.

Do středu kruhu umístil Munsell svislou tyč s hodnotami od 0 (černá) do 10 (bílá), mezi 0 a 10 se nacházejí hodnoty pro neutrální šedé barvy. Tato svislá škála reprezentuje Munsellovu souřadnici hodnota. Poloměr kruhu rozdělil na deset stejných kroků s hodnotou 0 na ose a 10 na obvodu, později ale roz-



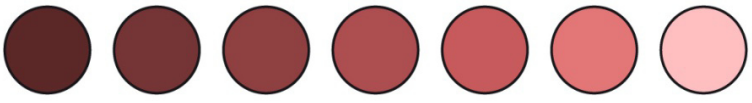
Obr. 16 – Munsellovo těleso viditelných barev[7]

Barvy HSB

V nejrůznějších současných softwarových aplikacích se často využívají zápisy barev podobné Munsellovu systému odstín / hodnota / barevnost (hue / value / chroma = HVC). Hlavním důvodem je to, že RGB popis barvy se sice ideálně hodí pro počítačové periferie, jako jsou monitory či skenery, ale není příliš intuitivní pro přímou práci s barvami, pro editaci barev uživatelem. Je poměrně náročné pomocí přímé volby hodnot R, G a B namíchat barvu typu „broskvová" nebo „hořčicová".

Jedním z často používaných zápisů barev tohoto druhu je trojice odstín / sytost / jas (hue / saturation / brightness = HSB). Pro běžného člověka je jistě jednodušší popsat barvu pomocí tří intuitivních hodnot, jako jsou odstín (Munsellův odstín), sytost (Munsellova barevnost) a jas (Munsellova hodnota), než pomocí vzájemného poměru tří primárních barev RGB.

Jas je hodnota pro intuitivní popis nejjednodušší. Jas je vlastnost, která charakterizuje, zda je barva světlejší nebo tmavší, kolik obsahuje světla. Jedním extrémem je černá, druhým extrémem je bílá, mezi nimi jsou tóny dané barvy od nejtmavších po nejsvětlejší.

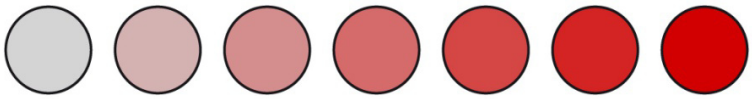


Obr. 17 – HSB, jas

6 *tamtéž*

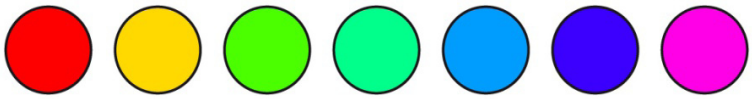
7 Diagrammatic representation of the Munsell color solid with one quarter section removed. *[online]. National Academy of Sciences of the United States of America, 2011. [cit 20110701]. Dostupné z URL <http://www.pnas.org/content/100/10/6281/ F1.large.jpg>.*

Sytost určuje, zda barva neobsahuje příměsi neutrální šedé nebo bílé. Zářivá barva růže je velmi sytá, světlá pastelová růžová sytá není. Barvy s malou sytostí vypadají, že do nich byla přimíchána šedá. Syté barvy se často zdají být tvořeny světlem jedné vlnové délky.



Obr. 18 – HSB, sytost

Odstín je nejobtížnější popsat, pro mnoho lidí je odstín synonymem pro slovo barva. Odstín je vlastnost barvy, která jí dává základní pojmenování, jako červená, žlutá nebo modrozelená. Odstín bezprostředně souvisí s převládající vlnovou délkou světla dané barvy.



Obr. 19 – HSB, odstín

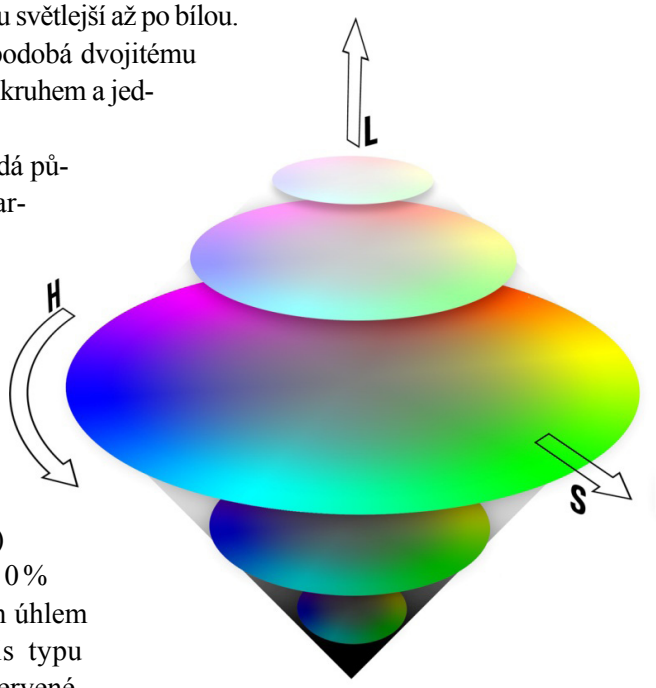
Barevný kruh

Pro přesné pochopení pojmu odstín a jeho souvislosti se sytostí a jasem je vhodné znázornit barvy v barevném kruhu. Munsell nebyl prvním, kdo takto znázornil barvy spektra, stejné uspořádání barev používal již I. Newton.

Nejběžnějším způsobem, jak rozmístit barvy na kruhu, je umístit tři aditivní primární barvy červenou, zelenou a modrou co nejdále od sebe, tedy do vrcholů rovnostranného trojúhelníku, a mezi ně vložit subtraktivní primární barvy azurovou, purpurovou a žlutou tak, aby každá barva ležela na kruhu proti svému doplňku, např. modrá proti žluté. Pak se každá barva, která je kombinací dvou primárních barev, nachází mezi nimi na stejné straně kruhu. Například žlutá je mezi zelenou a červenou, a žlutou také dostaneme smícháním zeleného a červeného světla. Odstín je pak možné popsat pomocí úhlu vyznačeného na kruhu.

Sytost lze považovat za vzdálenost od středu kruhu. Pokud se pohybujeme od okraje kruhu k jeho středu, je to stejné, jako bychom k barvě postupně přidávali barvu doplňkovou a blížili se k neutrální šedé uprostřed. Jas je možné si představit znázorněný ve třetím rozměru vybíhajícím z kruhu nahoru a dolů. Při postupu směrem dolů budou barvy stále tmavší, až po jedinou černou barvu, při pohybu nahoru světlejší až po bílou. Výsledné těleso obsahující všechny viditelné barvy se podobá dvojitému kuželu – každý vodorovný řez tímto tělesem je barevným kruhem a jednotlivé řezy (kruhy) se liší pouze hodnotou jasu.

Je nutno poznamenat, že HSB perceptuálně neodpovídá původnímu Munsellovu systému. Vzdálenosti barev v barvovém prostoru HSB jsou různé a mají pouze malou souvislost s tím, jak „běžný“ pozorovatel vnímá barevné rozdíly.



Obr. 20 – dvojitý kužel jako model HSL barvového prostoru[8]

Rozdíly mezi HSB, HVC, HSV a dalšími

Ačkoli jsou Munsellovo označování barev HVC a barvový prostor HSB založeny na stejném principu, nejsou totožné. V zápisu HSB je odstín vyjádřený úhlem 0° až 360° (úhel měřený po obvodu barevného kruhu) a sytost i jas jsou zapsány procentuálně, tj. hodnotou 0 % až 100 %. V Munsellově systému je odstín také udáván úhlem kolem barevného kruhu, ale Munsell používá zápis typu „2,5R“, což znamená dva a půl kroku podél kruhu od červené.

8 Color cones representing HSL color space. *[online]. c2008. [cit 20110701]. Dostupné z URL <http://it.wikipedia.org/wiki/File:Color_cones.png>.*

Munsellova hodnota (dnešní jas) je vyjádřena čísly od 0 do 10, Munsellova barevnost (dnešní sytost) má dokonce pro různé odstíny různé rozsahy, výchozí je také rozsah 0 až 10.

HSB je nejčastěji používaným zápisem barvy v počítačových aplikacích, ale přesto, nebo právě proto, existuje celá řada dalších odvozených variant. Můžeme zmínit například velmi podobné Apple HSL, kde L označuje hodnotu světlost (lightness = L). Není nutné zmiňovat podrobně všechny další varianty, je možné se setkat s HSV, LHS, HLS i HSC. Ve většině případů se jedná pouze o přejmenování souřadnic a změnu jejich pořadí, ale vždy je vhodné ověřit i formu zápisu a přípustné rozsahy hodnot ve vztahu k základnímu barvovému prostoru HSB.

Vztah mezi RGB a HSB

Neexistuje žádný přímý způsob, jak změřit odstín nebo sytost barvy nějakého povrchu. (Můžeme změřit pouze jas podle množství světla odraženého od povrchu.) Namísto toho jsou hodnoty HSB odvozené přímo z hodnot RGB. Konverze mezi RGB a HSB je popsána jednoznačnými matematickými vztahy a není nutné ji zde uvádět. (Na internetu je k dispozici mnoho výskytů popisu této konverze i v podobě algoritmů nebo přímo jednoduchých aplikací.)

Je však důležité si uvědomit, že HSB tím, že hodnoty jsou počítány přímo z hodnot RGB, má také stejná omezení. Pokud budou na dvou různých monitorech vypadat odlišně barvy se stejnými hodnotami RGB, budou na těchto monitorech vypadat odlišně i barvy se stejnými hodnotami HSB. Abychom docílili stejných barev, musíme na každém z monitorů nastavit jiné číselné hodnoty HSB, resp. RGB. Říkáme, že zápis barvy pomocí hodnot HSB je, stejně jako zápis barvy pomocí RGB, závislý na konkrétním zařízení.

Terminologická poznámka – je HSB tristimulus?

V odborné literatuře a výkladových slovnících je nejednotnost v tom, zda zápis barvy pomocí HSB je také vhodné označovat jako tristimulus, nebo zda by tento termín měl být vyhrazen pouze pro popis barvy použitím tří primárních barev, jako jsou například červená, zelená a modrá. Tato nejednotnost pro nás však není příliš důležitá, například i proto, že hodnoty HSB lze přímo vypočítat z hodnot RGB.

Nadále budeme používat slovo tristimulus v jeho obecnějším významu, jako označení jakékoli definice barvy založené na třech hodnotách. S tím totiž souvisí i možnost zobrazit množinu všech viditelných barev v podobě třírozměrného tělesa nebo prostoru. Pokud bychom potřebovali výslovně zmínit, že nějaký barvový prostor je založen na třech primárních barvách, uvedeme, že se jedná o trichromatický barvový prostor. Takový barvový prostor pak chápeme jako zvláštní případ tristimulu.

Literatura

[1] Bunting F. a kol.: *Colortron: User Manual.* Light Source Computer Images, Inc., Larkspur (California, USA) 1994.

[2] Fraser B., Murphy C., Bunting F.: *Správa barev: Průvodce profesionála v grafice a pre-pressu.* Computer Press, Brno 2003.

[3] Giorgianni E. J., Madden T. E.: *Digital Color Management: Encoding Solutions.* John Wiley & Sons Ltd., Chichester (West Sussex, England, GB) 2008.

[4] Hunt R. W. G.: *The reproduction of Colour.* John Wiley & Sons Ltd., Chichester (West Sussex, England, GB) 2004.

[5] Kang H. R.: *Computational Color Technology.* SPIE – The International Society for Optical Engineering, Bellingham (Washington, USA) 2006.

V příštím pokračování článku se podíváme na popis barev, který není závislý na konkrétním zařízení. Seznámíme se s pojmy, jako jsou chromatický diagram, standardní pozorovatel, rozdíl barev, a s mnoha dalšími.

Kdyby gepard vyrazil coby prašelma, už by dorazil na Proximu Centauri II.

Zuzana Suková[1], Fakulta pedagogická Západočeské univerzity v Plzni

První část článku byla věnovaná modelům, které znázorňují planety naší sluneční soustavy ve správném poměru velikostí a vzdáleností. Ve druhé části článku se podíváme mimo naši sluneční soustavu a zkusíme žákům přiblížit vzdálenost hvězdy Proxima Centauri a tvar i rozměry naší Galaxie.

2 Jak daleko je ke hvězdám?

Zkusme se nyní podívat o kousek dál – za naši sluneční soustavu. U větších vzdáleností bych se pro lepší představu držela jednotky délky světelný rok (l.y.), přestože ve většině odborných astronomických textů se setkáváme s rozměry uváděnými v parsecích[2] (pc). Pro žáky základních škol mi přijde názornější světelný rok – dráha, kterou urazí světlo za jeden rok.[3]



Obr. 9 – Nejrychlejší savec gepard[4]

Jak blízko nebo daleko je po Slunci nejbližší hvězda Proxima Centauri? Někteří žáci vědí, že nejbližší hvězda je hned „za rohem“, tedy ve vzdálenosti 4,24 l.y. a že ze Slunce k nám letí světlo něco přes 8 minut[5]. Ale ani to není podle mě dostatečně názorné. Nemá cenu převádět hodnotu 4,24 l.y. na kilometry nebo metry, protože bychom dostali jen další nepředstavitelné číslo. Co třeba ale zkusit tipnout, jak dlouho by ke hvězdě Proxima Centauri šel člověk (uvažujme rychlost 4 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$)? A co nejrychlejší savec gepard (uvažujme rychlost 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$)? Jsem si jista, že žáci si snadněji představí (i zapamatují), kdy v minulosti by musel gepard vyběhnout, aby tam dnes již byl, než nepředstavitelně obrovskou hodnotu v kilometrech nebo hodnotu sice nižší, ale pro žáky v exotické jednotce parsek, kterou neznají z běžného života. Necháme zase žáky chvíli tipovat, pak můžeme ještě hlasovat a jde se počítat.

Čas vypočteme ze známého vztahu $t = \frac{s}{v}$, kde čas t je podíl dráhy s a průměrné rychlosti v. Vše převedeme na metry a sekundy: 1 rok $\doteq$ 32 000 000 s, rychlost světla ve vakuu je přibližně 300 000 000 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ a pro vzdálenost hvězdy Proxima Centauri platí 4,24 l.y. $\doteq$ 40 000 000 000 000 000 m. Pro rychlost 4 $\frac{\text{km}}{\text{h}} \doteq 1{,}1$ $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ dostáváme po převedení na roky dobu přibližně 1 100 000 000 let. Člověk by musel k (po Slunci) nejbližší hvězdě jít více než miliardu let.

A gepard? Tomu by běh trval „jen“ 46 000 000 let (analogický výpočet). Číslo mnohem nižší, ale přesto nepředstavitelné z pohledu života člověka. Závěrem můžeme říci, že kdyby gepard vyrazil coby prašelma, právě teď by dorazil na Proximu Centauri.[6]

---

1 *zsukova@kmt.zcu.cz*

2 *Jeden parsek (1 pc) je vzdálenost, ze které vidíme 1 astronomickou jednotku (přibližně vzdálenost Země–Slunce) pod úhlem jedné úhlové vteřiny. Platí 1 pc $\doteq$ 3,262 l.y. $\doteq$ 206 265 AU $\doteq$ 3,086.10^{13} km.*

3 *Přesně se jedná o tzv. juliánský rok, který má délku 365,25 dne.*

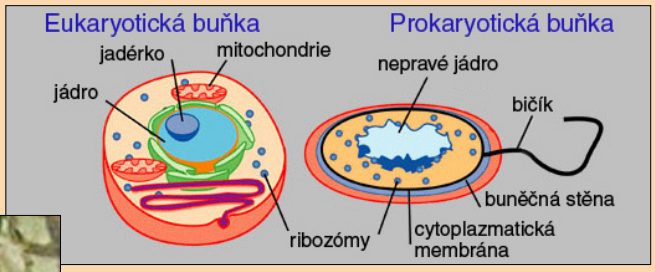
4 *http://blogplnyzvirat.blog.cz/1008/gepard-fotografie*

5 *Z povrchu Slunce na povrch Země letí světlo v závislosti na vzdálenosti těles mezi 8 minutami 8 sekundami a 8 minutami 25 sekundami.*

6 *Samozřejmě gepard může rychlostí 100 kilometrů za hodinu běžet jen po velmi krátkou dobu, řádově desítky sekund. Ve vesmíru není kyslík ani potrava, ani dráha, po které by mohl běžet. Muselo by se také během cesty vystřídat mnoho generací gepardů.*

Chceme-li žákům přiblížit několik let, desetiletí či staletí, nemáme s tím obvykle problém. Můžeme údaj přirovnat k délce lidského života, ke stáří významné památky, … Miliardu let si ale představíme jen stěží. V porovnání s lidským životem i antropologickým vývojem samotného člověka je to číslo nepředstavitelné. S čím tedy srovnávat? Snad nám pomůže, že stáří Slunce a celé naší sluneční soustavy se uvádí nejčastěji 4,6 miliardy let. Tedy 1,1 miliardy let odpovídá téměř celé jedné čtvrtině stáří sluneční soustavy.

A jak by vypadal náš „prapraprapředek", který před miliardou let obýval modrou planetu? Byl by teprve ve fázi eukaryotní buňky (buňka s jádrem), která někdy v té době vznikla. K eukaryotním organismům řadíme všechny buněčné organismy (jednobuněčné i mnohobuněčné) vyjma bakterií a archeí. Těm říkáme prokaryota, jsou ještě starší a tvořeny pouze primitivní buňkou bez jádra.



Obr. 10 – Porovnání prokaryontní a eukaryotní buňky[7]



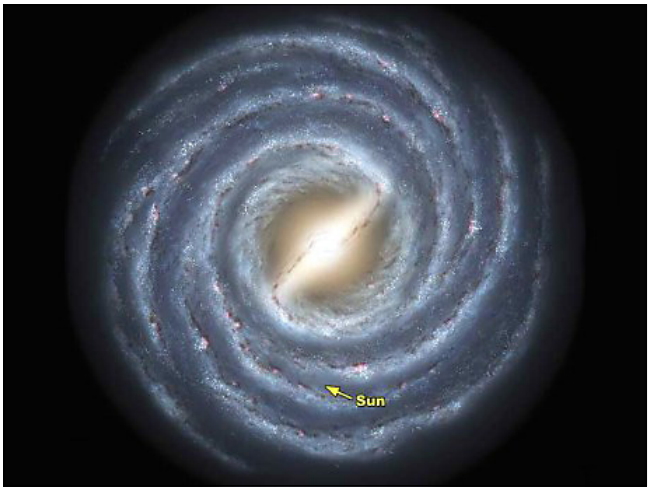
A jak si můžeme přiblížit 46 miliónů let? Opět se podíváme, jak to na Zemi tehdy vypadalo. Jen pro představu připomeňme, že dinosauři vyhynuli před 65 milióny let, takže bychom zde našli éru savců zastoupenou mnoha rozmanitými druhy. Jako předka šelem (prašelmu) si můžeme představit zástupce čeledi Miacidae, který v té době žil.

Obr. 11 – Miacidae – předek dnešních šelem[8]

3 Jak vypadá naše Galaxie?

3.1 Zmenšíme Galaxii na velikost Země

Naposledy zkusme ještě větší soustavu – naši Galaxii.[9] Zmenšeme naši Galaxii na velikost Země. Spirální galaxie i spirální galaxie s příčkou (mezi které se naše Galaxie řadí) mají tvar plochých disků, ale opět vyvstává otázka, jak moc je takový disk plochý. Bude-li mít naše Galaxie průměr stejný jako Země, odhadněte její tloušťku. Můžeme nechat žáky chvilku hádat a pak teprve počítat. Zkusíme určit i to, mezi jakými rovnoběžnými rovinami určenými rovnoběžkami severní a jižní šířky se bude disk nacházet.



Obr. 12 – Možný tvar naší Galaxie[10]

7 *http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Celltypes_SK.png?uselang=cs*

8 *http://www.wildcarebayarea.org/site/PageServer?pagename=eNews_January2012_landingpage&printer_friendly=1*

9 *Naše galaxie se skutečně jmenuje Galaxie. V povědomí veřejnosti se můžeme setkat s nesprávným pojmenováním Mléčná dráha, což je ale světlejší pruh na noční obloze. Tento světlý pruh je způsoben splýváním světla tisíců a statisíců hvězd naší Galaxie, které nelze pouhým okem rozlišit od sebe. Důvodem, proč vidíme v této části oblohy tolik hvězd, je to, že se jedná o pohled na rovinu galaktického disku.*

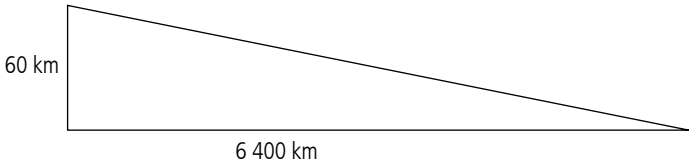
10 *http://www.toulkyvesmirem.estranky.cz/fotoalbum/ruzne/nase-galaxie.html*

Skutečný poloměr Galaxie je přibližně 55 000 l.y., tloušťka (bez centrální výduti) jen 1 000 l.y. (různé zdroje uvádějí odlišné hodnoty, tyto hodnoty jsou převzaté z [3]). Centrální výduť je asi pětinásobná. Poloměr Země je po zaokrouhlení na dvě platné cifry 6 400 km, měřítko po žácích nemusíme vyžadovat – pro výpočet nám bohatě stačí trojčlenka.

55 000 l.y. ..... 6 400 km
1 000 l.y. ..... x km

Pro tloušťku platí $x = \frac{1\,000}{55\,000} \cdot 6\,400 \doteq 120$.

Tloušťka modelu by tedy byla pouhých 120 km (vzdušnou čarou vzdálenost Praha–České Budějovice). Jednalo by se přibližně o pás mezi 0,5° s. š. a 0,5° j. š. To vypočítáme snadno z trigonometrie pravoúhlého trojúhelníka pomocí funkce tangens (ilustrační obrázek není ve správném měřítku).



$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{60\ \text{km}}{6\,400\ \text{km}} \doteq 0{,}009$$

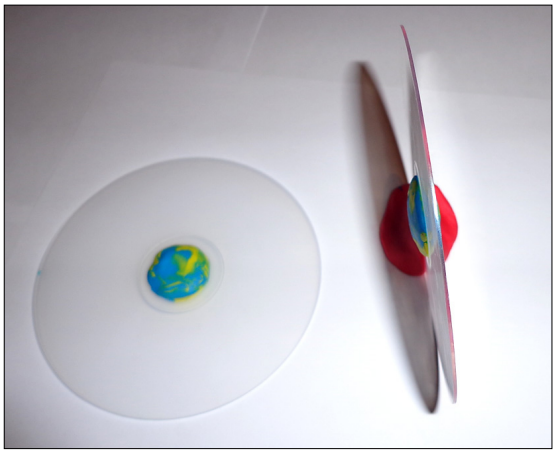
$$\alpha \doteq 0^\circ\ 31'$$

3.2 Můžeme si Galaxii představit jako kompaktní disk (CD)?

Tvar naší Galaxie podle literatury (například [1]) velmi dobře vystihuje kompaktní disk, který má tloušťku pouze 1,2 mm. Pouze v centrální výduti Galaxie by model měl být trochu silnější než CD. Ale je tomu skutečně tak? Můžeme žáky opět nechat stejně jako u první aktivity tento model vytvořit. Nejprve pomocí trojčlenky určíme rozměry modelu tak, aby průměr 110 000 l.y. odpovídal průměru kompaktního disku, tedy 120 mm. Tloušťka Galaxie se odhaduje na 1 000 l.y., což v našem modelu představuje 1,1 mm, což velmi dobře odpovídá tloušťce CD. Maximální tloušťka modelu představující centrální výduť je asi pětinásobkem a bude mít v modelu tloušťku 5,5 mm. Výduť sahá asi do jedné pětiny disku Galaxie – v modelu tedy bude mít poloměr 1,2 cm. Galaxii můžeme vytvořit z jednoho CD a kartonu (nad i pod střed disku připevníme kruh o poloměru 1,2 cm vystřižený ze silnějšího kartonu, na něj zase o kousek menší kruh atd., až nám vznikne vypouklina o celkové tloušťce 5,5 mm) nebo snadněji a přesněji jej vymodelujeme pomocí modelíny. Na obr. 14 je takový model vyfotografovaný.



Obr. 13 – Kompaktní disk[10]

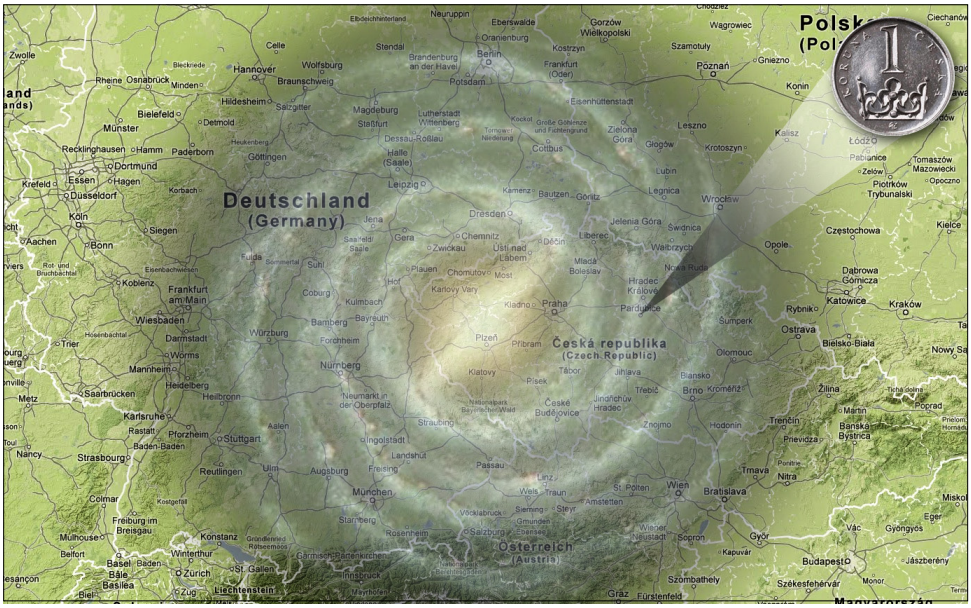


Obr. 14 – Model Galaxie z CD[11]

11 http://www.publicdomainpictures.net/pictures/10000/nahled/33-1204659378q2xs.jpg
12 fotografie autora

Další zajímavý model převzatý z [3] je zmenšení naší Galaxie na průměr 100 m (přibližně délka fotbalového hřiště). V tomto případě by sluneční soustava včetně Oortova oblaku byla menší než 1,4 mm a nejbližší hvězda Proxima Centauri by se nacházela ve vzdálenosti 3,9 mm od Slunce[13].

Zmenšíme-li sluneční soustavu na rozměr mince 1 Kč (20 mm), pak bude mít Galaxie průměr 700 km, což odpovídá vzdálenosti měst Frankfurt nad Mohanem a Ostrava.[14] Střed Galaxie bychom našli v Manětíně (v Plzeňském kraji). Slunce by leželo v blízkosti Pardubic (172 km od středu Galaxie) a nejbližší hvězda 27 metrů od mince představující naši sluneční soustavu. Pro větší názornost je situace znázorněna na obr. 15.



Obr. 15 – Model Galaxie, kde sluneční soustava je zmenšená na velikost mince 1 Kč[15]

Závěr

Snahou druhé části článku bylo zkusit žákům poslední třídy základní školy alespoň trochu přiblížit nepředstavitelné rozměry blízkého vesmíru – vzdálenost hvězdy Proxima Centauri a tvar a rozměry Galaxie. Asi si nebudou pamatovat konkrétní číselné hodnoty, ale věřím, že si udělají představu o tom, že vzdálenosti i v blízkém vesmíru jsou ohromné. A pokud přirovnají Galaxii k CD, nic tím určitě nepokazí. Začlenění některých námětů z mého článku do výuky by mohlo vést také ke zvýšení zájmu žáků nejen o astronomii, ale o přírodní vědy obecně.

Literatura

[1] *Galaxie Mléčná dráha*. [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Galaxie_Mléčná_dráha

[2] MACHÁČEK, Martin. Fyzika pro gymnázia – Astrofyzika. 3. vyd. Praha: Prometheus, 2008, 143 s. ISBN 978-80-7196-376-9.

[3] *Milky Way: FromWikipedia, the free encyclopedia*. [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Milky_Way

[4] RANDA, Miroslav. *Astronomia: Astronomický server Fakulty pedagogické ZČU v Plzni*. [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: http://astronomia.zcu.cz/

13 Hodnoty uvedené v tomto článku se liší od hodnot uvedených v [3]. Důvodem je použití nově zjištěných přesnějších rozměrů Galaxie (počítá se s průměrem Galaxie 110 000 l.y. a s průměrem Oortova oblaku 1,58 l.y.).

14 Pro model zvolme poloměr sluneční soustavy 100 AU, což odpovídá současné vzdálenosti sondy Voyager 2. Pro srovnání vzdálenost sondy Voyager 1 je 124 AU.

15 Obrázek složen z http://www.zlate-mince.cz/CRO_1_Kc.htm, http://www.toulkyvesmirem.estranky.cz/fotoalbum/ruzne/nase-galaxie.html a http://strednievropa.wz.cz/index.html

Exkurze do Seismické observatoře Kašperské Hory

Václav Kohout[1], Nakladatelství Fraus, s. r. o., Plzeň

V průběhu konference Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 6, která proběhla od 24. do 26. dubna 2013 v Kašperských Horách, Amálině údolí, zavítali účastníci tohoto setkání odborníků na výuku fyziky v rámci odpoledního programu i do Seismické observatoře Kašperské Hory, jež spadá pod správu Geofyzikálního ústavu Akademie věd České republiky, Praha. Článek má čtenáře seznámit s touto exkurzí a přináší několik fotografií ilustrujících její atmosféru. Máme přislíbený další, tentokrát již odborný článek, popisující činnost Seismické observatoře Kašperské Hory a její zapojení do české regionální seismické sítě i mezinárodní seismické sítě.

Na čtvrteční odpoledne byla pro účastníky konference naplánována krátká vycházka s velice zajímavým cílem. Vydali jsme se po pohodlné lesní cestě od hotelu Šumava, ve kterém se naše setkání konalo, krásným šumavským Amáliným údolím zhruba dva a půl kilometru proti proudu Zlatého potoka. Naším cílem byla bývalá zlatonosná štola Kristina, ve které jsou již více než padesát let hluboko pod povrchem země umístěny seismometry Seismické observatoře Kašperské Hory.



Cestou Amáliným údolím proti proudu Zlatého potoka



Konečně na místě – Seismická observatoř Kašperské Hory

Pohodlnou chůzí jsme se po necelé půlhodině dostali na dohled objektů observatoře. Na místě nás přivítali pracovníci Geofyzikálního ústavu akademie věd Ing. Josef Horálek, CSc. a Ing. Petr Jedlička. Protože zájemců o exkurzi z řad účastníků konference bylo více než čtyřicet, rozdělili si nás do dvou skupin. Po návštěvě štoly se seismometry byla nutnost menších skupin zřejmá. Nedokážu si představit, jak by se v úzké a nízké štole pohybovala skupina čtyřiceti lidí. I ta poloviční dvacetičlenná byla na hranici rozumné komunikace, kolikrát si ti ze „zadního voje“ stěžovali, že neslyší, co se vpředu povídá, a náš průvodce pro ně musel vše ještě jednou opakovat. Naštěstí s námi měl trpělivost, a tak se snad všichni dověděli, co chtěli.

Jednu skupinu si s sebou odvedl Ing. Horálek do novějšího objektu stanice na levém břehu potoka, druhá skupina si před starším objektem nad břehem pravým nasazovala pod dozorem Ing. Jedličky přilby a chystala se do nitra hory. Uvnitř stanice, kam nás odvedl Ing. Horálek, jsme si vyslechli zajímavou přednášku o vzniku zemětřesení, o seismických jevech obecně, o jejich měření i dalším využití těchto měření. Přednáška byla doplněna pečlivě připravenou prezentací s mnoha schématy a nákresy. Tyto nákresy jsme vesměs mohli vidět i rozvěšené na zdech kolem. Protože my fyzici jsme lidé zvídaví, snesla se na přednášejícího celá smršť dotazů, na které nám dlouze a podrobně odpovídal. Ve vedlejší místnosti jsme zahlédli záznam aktuálního měření seismometru, přenášeného z hloubky štoly v protějším kopci.

1 *kohout@fraus.cz*



Ing. Josef Horálek, CSc., a bedlivě naslouchající účastníci exkurze



Ing. Josef Horálek, CSc.

Z horka místnosti přeplněné lidmi jsme se po necelé hodině vydali vystřídat druhou skupinu, která si mezitím prohlédla štolu. Ing. Jedlička nám důrazně doporučoval, abychom si před vstupem do štoly oblékli bundy a vzali si hornické přilby. Na jeho pokyn jsme vstoupili do hory a postupovali dál několik desítek metrů, až jsme narazili na křižovatku cest. Kudy dál? Nejprve vlevo, ale po pár metrech už to dál nešlo. Dověděli jsme se, že se nacházíme v místě, kde byly umístěny původní nejstarší seismometry této stanice. Nějak jsme se v úzké chodbě všichni prostřídali a šli zpět na křižovatku, a poté za ni na druhou stranu. Tentokrát jsme navštívili druhou boční chodbu, ve které bývaly uloženy vojenské seismometry, jejichž úkolem bylo před rokem 1989 detekovat jaderné výbuchy po celém světě, hlavně ale ty americké. Od Ing. Jedličky jsme se dověděli zajímavost, že tyto seismometry neměly osy orientované klasicky ve směru sever–jih a východ–západ, ale jedna z os používané soustavy souřadnic byla natočena tak, aby mířila přímo na Nevadu, kde probíhala většina amerických pokusných jaderných explozí. Nakonec jsme došli i do komory se třemi tlakovými nádobami a dověděli se, že právě v nich byly tři hlavní seismometry této stanice. Každý měřil výchylky v jednom ze tří směrů souřadnicové soustavy: v severojižním, západovýchodním a svislém směru. Dnešní moderní seismometr měří ve všech třech osách zároveň, a proto zbylé dvě nádoby



Ve štole – zde pobývali vojáci



Ve štole



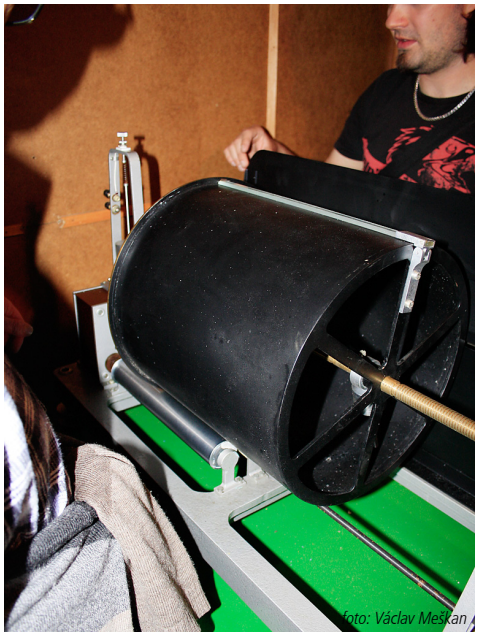
Ing. Petr Jedlička



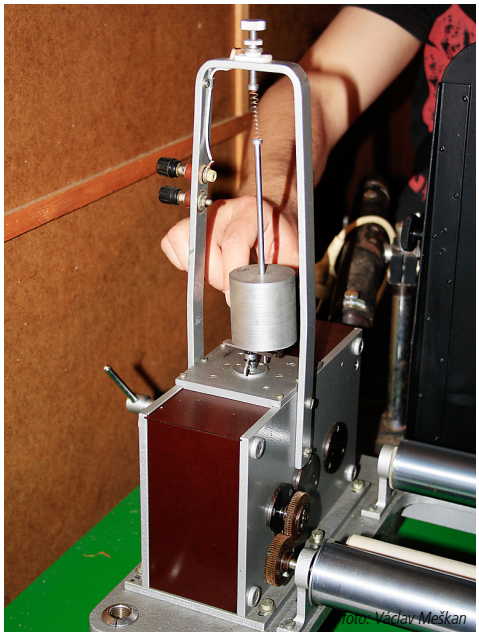
Tlakové nádoby se seismometry

nejsou naplno využity. Dokonce jsme se dověděli, že současný moderní seismometr by ani nemusel být v tlakové nádobě, protože jeho konstrukce již není citlivá na změny barometrického tlaku, kvůli kterým byly starší typy do nádob zavírány. Poté, co jsme si vyslechli zajímavé povídání Ing. Jedličky a v sousední místnosti si ještě prohlédli převodníky naměřeného signálu a optický kabel vedoucí ze štoly do stanice, vydali jsme se rádi ven za sluníčkem a za teplem. Přece jen byla uvnitř hory nepříjemná zima a bundy se nám hodily.

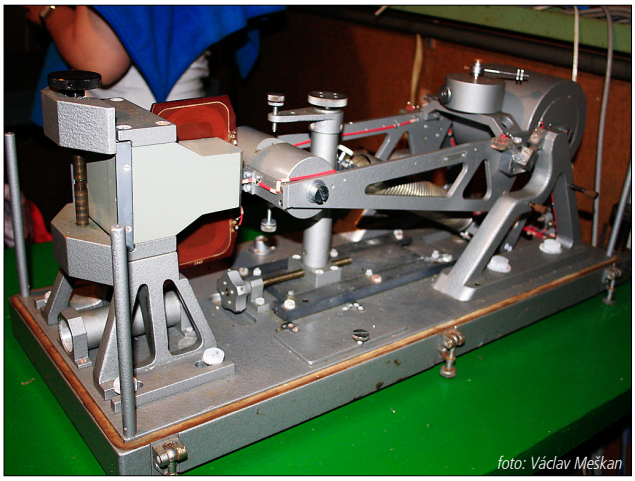
Na závěr jsme si ještě prohlédli seismologické muzeum v objektu v sousedství štoly. Ing. Jedlička nám ukázal dříve používané seismometry a související záznamová zařízení. Viděli jsme staré, hodinovým strojem poháněné záznamové bubny i analogový počítač zpracovávající získaný signál. V sousední místnosti jsme viděli hned několik seismometrů. Jeden snímací modul byl položen v koutě na podlaze a připojen k počítačovému monitoru. Opako-



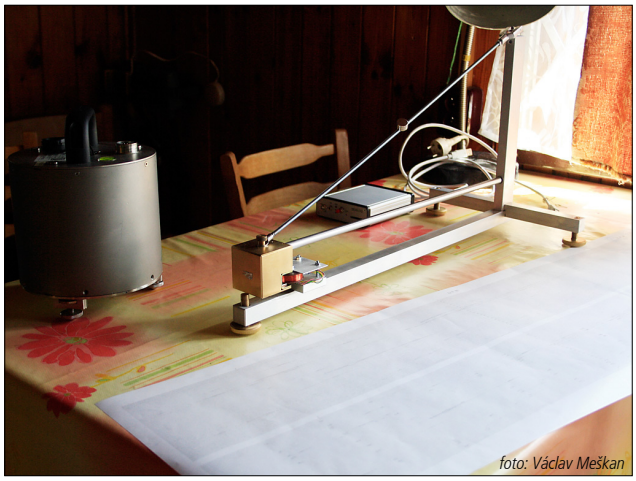
Buben historického záznamového zařízení



Detail starého seismometru



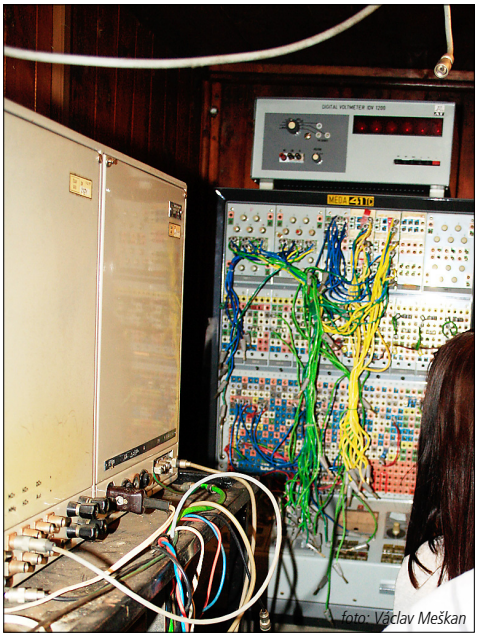
Starý seismometr



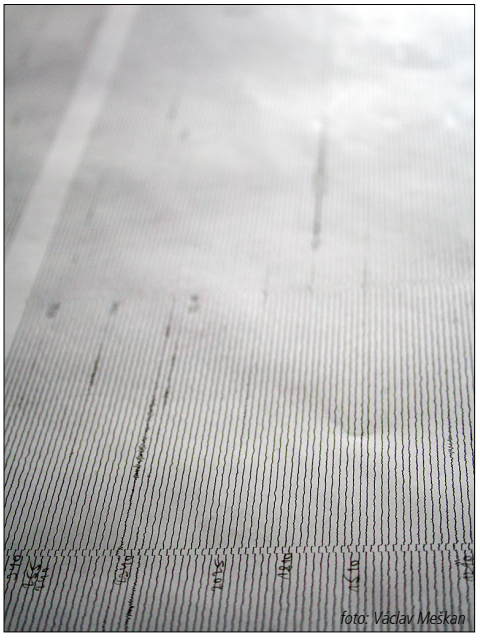
Školní seismometr

vaně jsme zkoušeli projít se po místnosti, sem tam zadupat a poskočit si, a přitom hned v reálném čase sledovat odezvu našeho počínání na křivkách vykreslovaných na monitoru. Na stole zase stál jednoduchý seismometr, o kterém jsme se dověděli, že je určený pro školní seismická měření. Cílem plánovaného projektu je vybavit školy z řad zájemců těmito jednoduchými a levnými přístroji a vytvořit tak propojenou celorepublikovou školní síť takových měřících zařízení. Zajímavá myšlenka, nezbývá nám než doufat, že se ji povede brzo zrealizovat.

Nakonec jsme si prohlédli a prozkoumali na stole ležící seismogram z uplynulého dne. Od Ing. Jedličky jsme se opět dočkali zajímavého výkladu, ukázal nám, jak se na záznamu projeví projíždějící nákladní auto, jak vypadalo vzdálené zemětřesení v Maďarsku a zemětřesné roje v západních Čechách. A také, jak se na seismogramu projeví začátek a konec směny na několik kilometrů vzdálené pile v sousedním údolí.



Analogový počítač pro vyhodnocování měřeného signálu



Seismogram

Byli bychom se zdrželi daleko déle, ale čekal nás další program konference. Proto jsme se s oběma seismology srdečně rozloučili, poděkovali jsme za fůru nových informací i zážitků a vydali se Amáliným údolím po proudu potoka zpět směrem k hotelu. Odbornou exkurzi do Seismické observatoře Kašperské Hory všem zájemcům o tuto problematiku nebo obecně zájemcům o techniku jen a jen doporučujeme.

ŠKOLSKÁ FYZIKA

praktický časopis pro výuku fyziky

1

2013

Vydává

Fakulta pedagogická
Západočeské univerzity v Plzni,
Univerzitní 8, Plzeň

oddělení fyziky katedry matematiky,
fyziky a technické výchovy

ISSN 1211-1511