

Měření se senzorem GPS

V současné době jsou žáci základních a středních škol (resp. studenti vysokých škol) velmi zruční v používání moderní techniky (mobilní telefony, přístroje GPS, počítače, ...). Proto je možné tyto jejich dovednosti využít i při výuce fyziky a ke zvýšení motivace o tento stále zatím nedocenený a mnohými žáky (resp. studenty) nenáviděný předmět. Navíc níže popsaný experiment může být vhodný i pro netechnicky zaměřené žáky či studenty.

Provedení experimentu

Jeden z netradičních experimentů do výuky fyziky lze zrealizovat i v přírodě (školy v přírodě, seznamovací kurzy, sportovní kurzy, ...). Já jsem jako základ experimentu využil svůj koníček: jízdu na kole. Na kole jezdím rád, protože je to skvělá příležitost, jak si odpočinout. Ano, je to tak: během jízdy na kole mám možnost urovnat si myšlenky, odpočinout si od duševní námahy, kterou člověk vyvíjí u počítače, začít zase namáhat jiné svaly a trochu protrénovat fyzickou kondici. Při jedné z mých jízd mě napadlo právě tyto jízdy využít i k fyzikálním experimentům.

Ve středu 17. 8. 2011 jsem si proto před vlastní projížďkou (viz obr. 1) připravil datalogger LabQuest od firmy Vernier a senzor GPS. Ten jsem závěsným špendlíkem upevnil za přívodní kabel k cykloresu (viz obr. 2). Druhý konec přívodního kabelu jsem připojil do LabQuestu, který jsem po nastavení parametrů měření zasunul do zadní kapsy dresu. Nastavil *Dobu měření* pro jistotu na 3,5 hodiny, což byl můj horní odhad trvání naplánované trasy (pevně jsem ovšem věřil, že budu, jako vždy, rychlejší), nastavil *Vzorkovací frekvenci* na 1500 záznamů za hodinu (vyšší vzorkovací frekvenci mi daty naplněný LabQuest nastavit neumožnil) a když jsem vyjel z branky zahrady, spustil jsem měření.



J. Reichl, 2011
obr. 1



J. Reichl, 2011
obr. 2

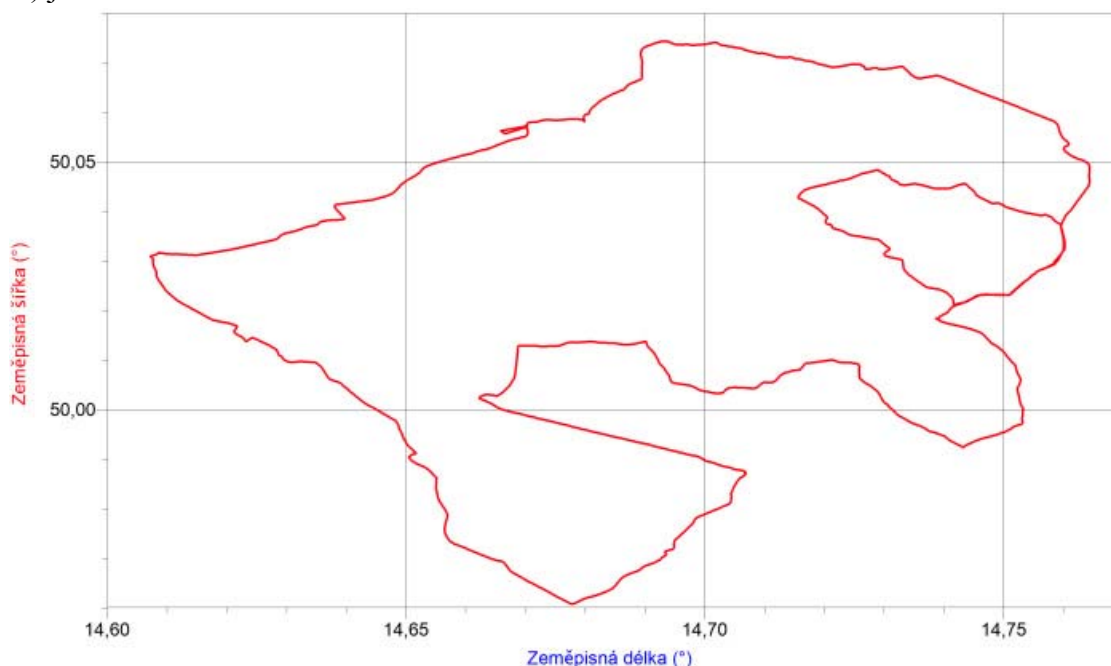
Vyrazil jsem z Prahy - Kolovrat na předem naplánovanou trasu: Říčany - Světlice - Všeň - Tehov - Říčany - Pacov - Strašín - Babice - Babičky - Mukařov - Žernovka - Doubek - Hradešín - Škvorec - Třebohostice - Doubek - Hradešín - Přišimasy - Úvaly - Újezd

nad Lesy - Květnice - Sibřina - Královice - Uhříněves - Kolovraty. Její délka podle údajů na tachometru kola po skončení projížďky byla 60 km a ujel jsem jí průměrnou rychlostí necelých 21 km.h⁻¹. Trasu jsem předem připravil vzhledem k tomu, že jsem jí chtěl zaznamenat pomocí senzoru GPS a naměřená data dále zpracovat. Počasí během jízdy bylo po delším období dešťů pěkné: jasno až polojasno s teplotou vzduchu přibližně 25 °C.

Jel jsem, jak mám ve zvyku, po silnicích bez zbytečných zastávek (kromě křižovatek, kde zastavení bylo nutné).

Zpracování naměřených dat

Po příjezdu domů jsem naměřená data uložil do dataloggeru LabQuestu a poté je importoval do programu LoggerPro. Záznam trasy (tj. závislost zeměpisné šířky na zeměpisné délce) je zobrazen na obr. 3.



J. Reichl, 2011

obr. 3

Z programu LoggerPro lze takto naměřená data senzorem GPS zobrazit pomocí vestavěné funkce programu přímo v internetové mapě. Tuto funkci lze z programu LoggerPro vybrat z menu volbou *Soubor - Exportovat jako - Google Mapy*. Po jejím vybrání má uživatel možnost nastavit barvu zobrazené trasy v mapě případně vložit poznámky k jednotlivým záznamům ze senzoru GPS. Poté se data zpracují pomocí skriptu na webových stránkách [1] a v internetovém prohlížeči se data zobrazí v mapě (viz obr. 4), v níž lze měnit měřítko, vybrat typ mapy, ... podobně jako v jiných mapách běžně dostupných na internetu.

Podíváme-li se pozorně na naměřená data zobrazená na obr. 3 nebo obr. 4, můžeme rozpoznat hlavu panáčka. Hlava má otevřená ústa a nad nosem je vidět velké oko. Plánovaná trasa byla zvolena právě s ohledem na to, aby ve výsledku vznikl tento obrázek. Je pravdou, že trasa nebyla vymyšlena od začátku celá. Při jednom z mnoha mých předchozích výletů na kole jsem získal s pomocí senzoru GPS velmi podobný obrázek projeté trasy. Proto jsem před projížďkou, kterou popisuji v tomto článku, pouze upravil již předem projetou trasu. Cílem bylo ukázat, že s využitím senzoru GPS lze také „kreslit obrázky“. Pro menší žáky to může být nenásilná forma, jak se seznámit s praktickým výstupem dat získaných pomocí senzoru

GPS. V pozdějším věku pak mohou tyto své „obrázky“ podrobit fyzikálnímu rozboru, který bude popsán dále.



J. Reichl, 2011

obr. 4

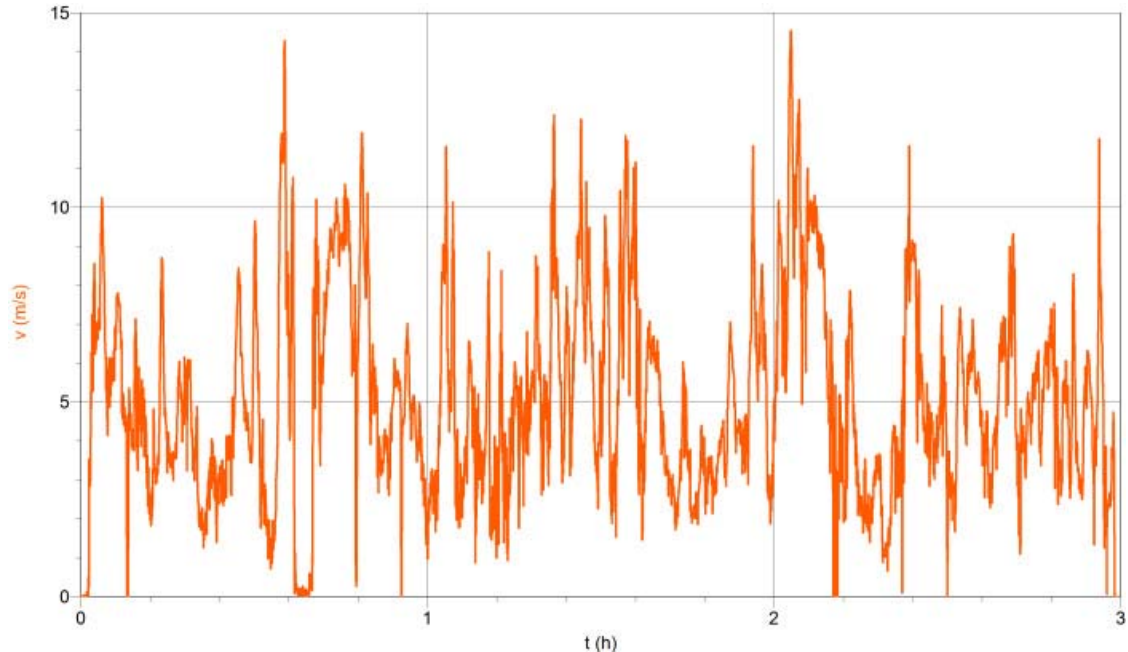


J. Reichl, 2011

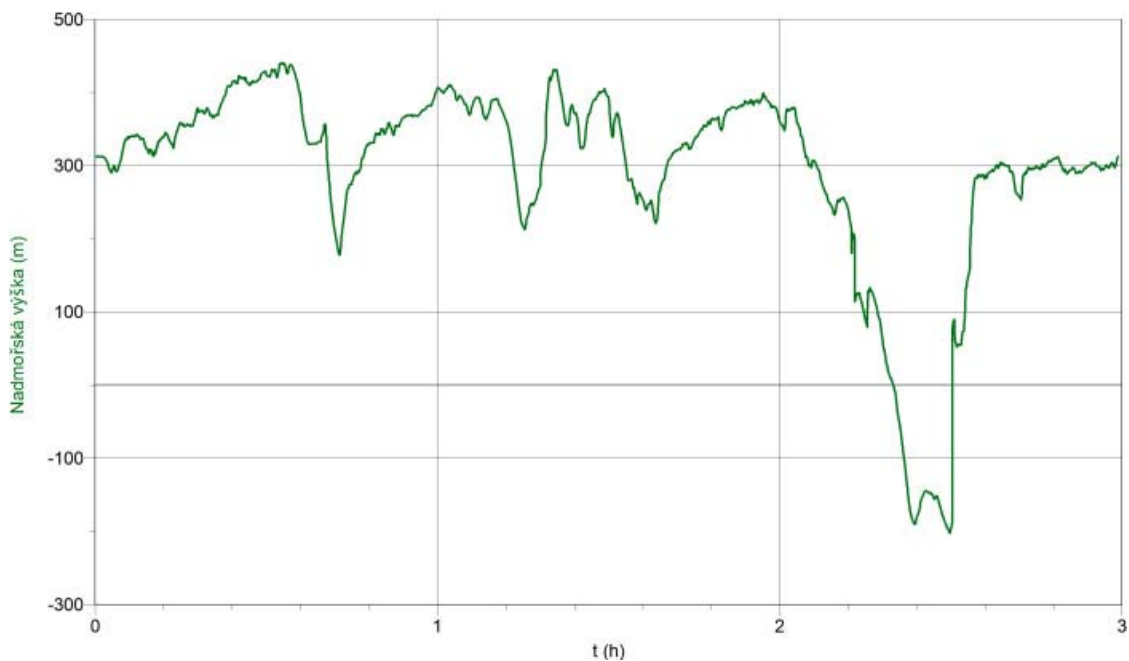
obr. 5

Hlava panáčka je ovšem na obr. 4 zobrazená v nepřirozené pozici. S využitím vhodného grafického programu lze tento obrázek natočit tak, aby hlava byla v přirozené pozici (viz obr. 5). Tím se sice stanou hůře čitelné další údaje mapy a kolem obrázku se objeví bílé výřezy, ale pro tento účel to snad nebude příliš rušivé.

Na základě naměřených dat lze přímo v programu LoggerPro zobrazit i graf závislosti velikosti okamžité rychlosti na čase (viz obr. 6). Graf vypadá na první pohled velmi neuspořádaně, což je ovšem dáno použitou vzorkovací frekvencí záznamu dat, tj. záznamem dat přibližně po každých 2,4 s. Za tu dobu se může velikost rychlosti cyklisty v některých případech značně změnit (náhlé brzdění před křižovatkou nebo překážkou na cestě, změna velikosti rychlosti v důsledky změny stoupání resp. klesání terénu, ...).



J. Reichl, 2011
obr. 6



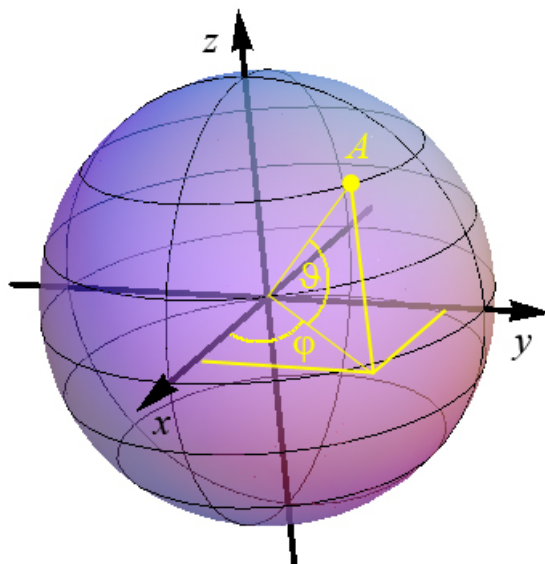
J. Reichl, 2011
obr. 7

Při velikosti průměrné rychlosti přibližně $21 \text{ km.h}^{-1} \doteq 5,8 \text{ m.s}^{-1}$ za dobu, která uplyne mezi dvěma po sobě jdoucími záznamy dat, urazí cyklista přibližně vzdálenost 14 m.

Dalším grafem, který lze v programu LoggerPro zobrazit bez dodatečných výpočtů, je graf závislosti nadmořské výšky na čase; ten je zobrazen na obr. 7. S využitím statistiky programu (po označení všech hodnot v grafu jí lze zobrazit buď z hlavního menu programu volbou *Analýza - Statistika* nebo pomocí příslušné ikony na panelu ikon) zjistíme snadno, že nejvyšší nadmořská výška byla 440,8 metrů nad mořem a nejnižší -202,5 m nad mořem. V zobrazené statistice je uveden také čas, ve kterém byla maximální resp. minimální výška dosažena. Proto je potom snadné najít v zobrazených datech souřadnice tohoto místa. Tyto souřadnice lze pak v internetové mapě ztotožnit se skutečným místem na projeté trase. V případě maximální nadmořské výšky se jedná o vrchol kopce u obce Tehov; tato informace souhlasí se skutečností, neboť tento bod je skutečně nejvyšším bodem na celé projeté trase. V případě minima odpovídá nalezená nadmořská výška rybníku u obce Sibřina, tedy místu mimo projetou trasu. Navíc ani v okolí tohoto místa nejsou ve skutečnosti žádné terénní nerovnosti, jaké signalizuje graf na obr. 7. Pravděpodobně byl v daném místě špatný příjem signálu z družic systému GPS a nastala drobná chyba. Tomu napovídá i drobná smyčka zobrazená právě v tomto místě v mapě na obr. 4 a obr. 5 i v grafu závislosti zeměpisné šířky na zeměpisné délce, který je zobrazen na obr. 3. Až na tyto drobné odchylky záznam dat odpovídá skutečně projeté trase.

Dále mě zajímaly další charakteristiky mé jízdy. Zajímalo mě např. jak narůstala dráha, kterou jsem urazil, v závislosti na čase a jak se měnila během jízdy velikost průměrné rychlosti pohybu. Vzhledem k tomu, že terén byl poměrně členitý, musela se velikost průměrné rychlosti v průběhu jízdy poměrně značně měnit.

Proto jsem data z programu LoggerPro exportoval do tabulkového editoru Excel a uložil. Takto uložená data jsem pak importoval do systému Mathematica, v němž jsem je dále zpracovával. Podrobný návod, jak provést export dat z programu LoggerPro do formátu XLS a jak tato data následně importovat do systému Mathematica, je vysvětlen ve videonávodu [2].



J. Reichl, 2011

obr. 8

Dříve, než jsem mohl začít vykreslovat požadovanou závislost uražené dráhy na čase, musel jsem získat na základě informací o zeměpisné délce a zeměpisné šířce údaje o poloze na povrchu Země. Pokud si uvědomíme, jak jsou zeměpisné souřadnice měřeny, neměl by to být příliš velký problém. Zeměpisná délka φ je měřena od nultého poledníku (tzv.

Greenwichský poledník) směrem na východ a zeměpisná šířka ϑ je měřena od rovníku směrem k severnímu (resp. jižnímu) pólu (viz obr. 8).

Označíme-li poloměr Země symbolem R (na obr. 8 je to vzdálenost bodu A od počátku zvolené soustavy souřadnic), můžeme pro souřadnice bodu A psát

$$x_A = R \cos \vartheta \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

$$y_A = R \cos \vartheta \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

a

$$z_A = R \sin \vartheta. \quad (3)$$

Vztahy (1) až (3) jsou tedy totožné s převodními vztahy mezi sférickými souřadnicemi R , φ a ϑ a souřadnicemi kartézskými.

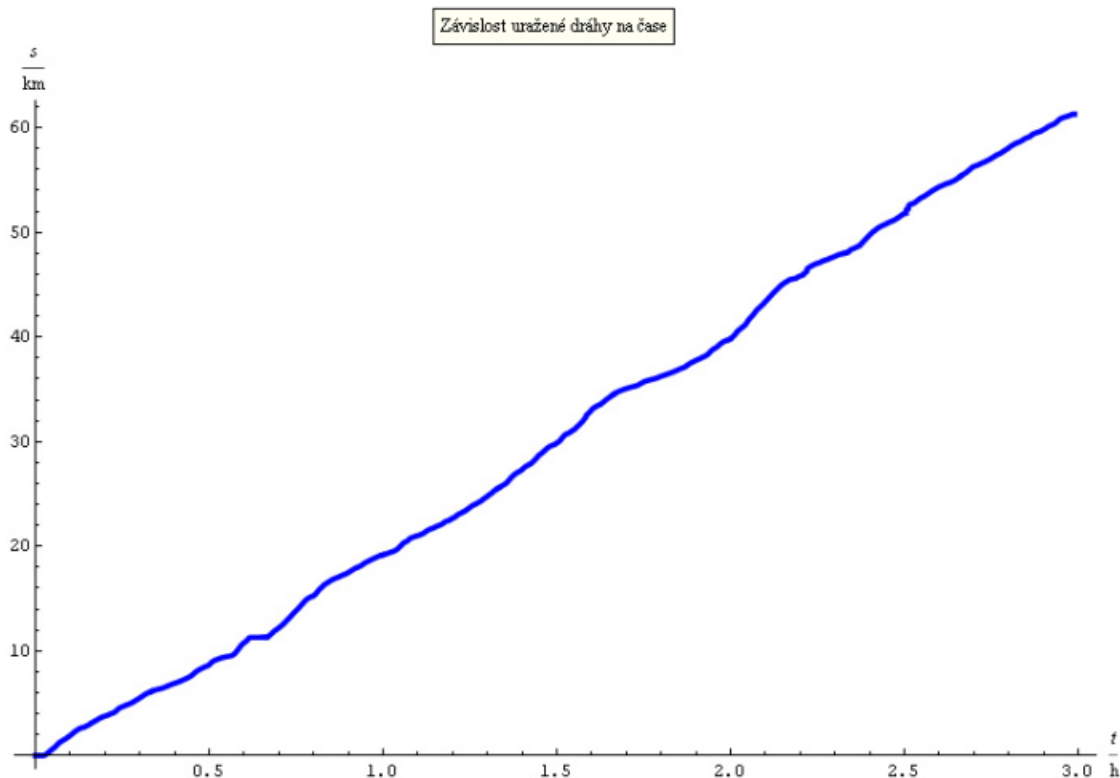
Ve vyjádření souřadnic x , y a z (pomocí vztahů (1) až (3)) jednotlivých bodů na povrchu Země není zahrnuta nadmořská výška mění se během jízdy. Vzhledem k tomu, že poloměr Země má hodnotu přibližně 6400 kilometrů a nadmořská výška se měnila v intervalu stovek metrů, není nutné tuto korekci uvažovat. Modifikovat o tuto korekci příslušný notebook systému Mathematica by bylo snadné.

Máme-li vypočtené souřadnice x , y a z všech zaznamenaných bodů, můžeme přírůstek dráhy Δs mezi dvěma sousedními body A a B , jejichž souřadnice φ a ϑ byly zaznamenány senzorem GPS, psát ve tvaru

$$\Delta s = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}, \quad (4)$$

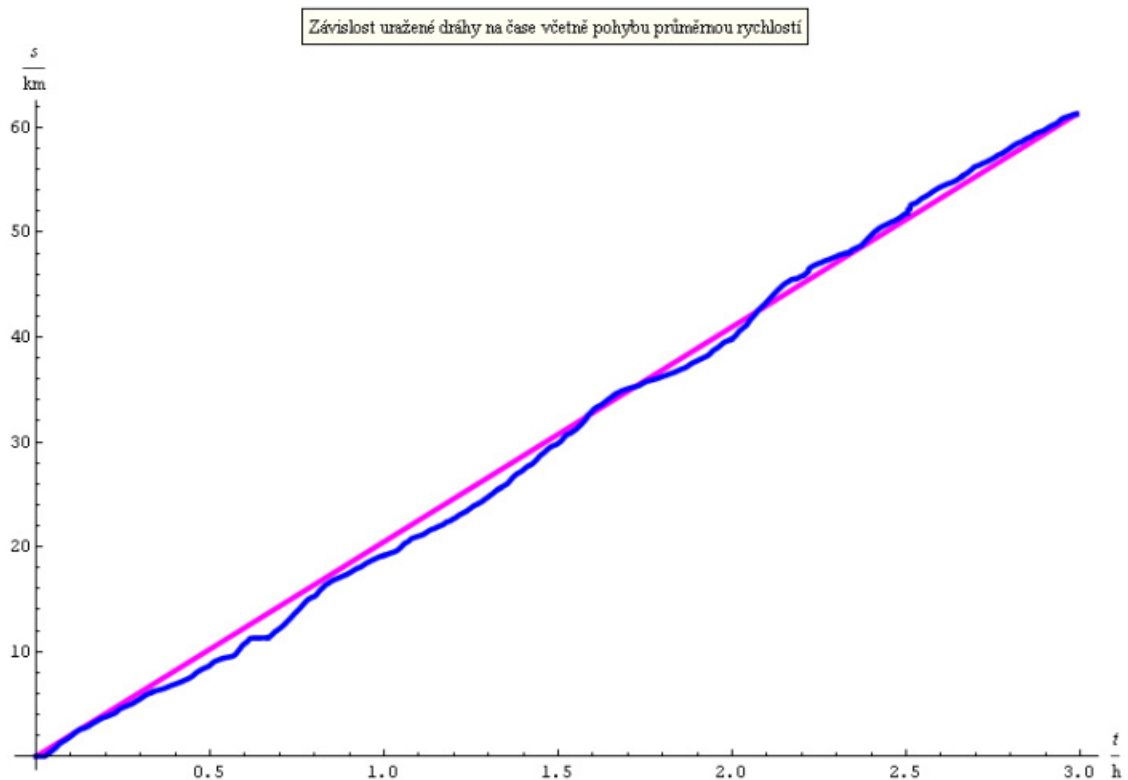
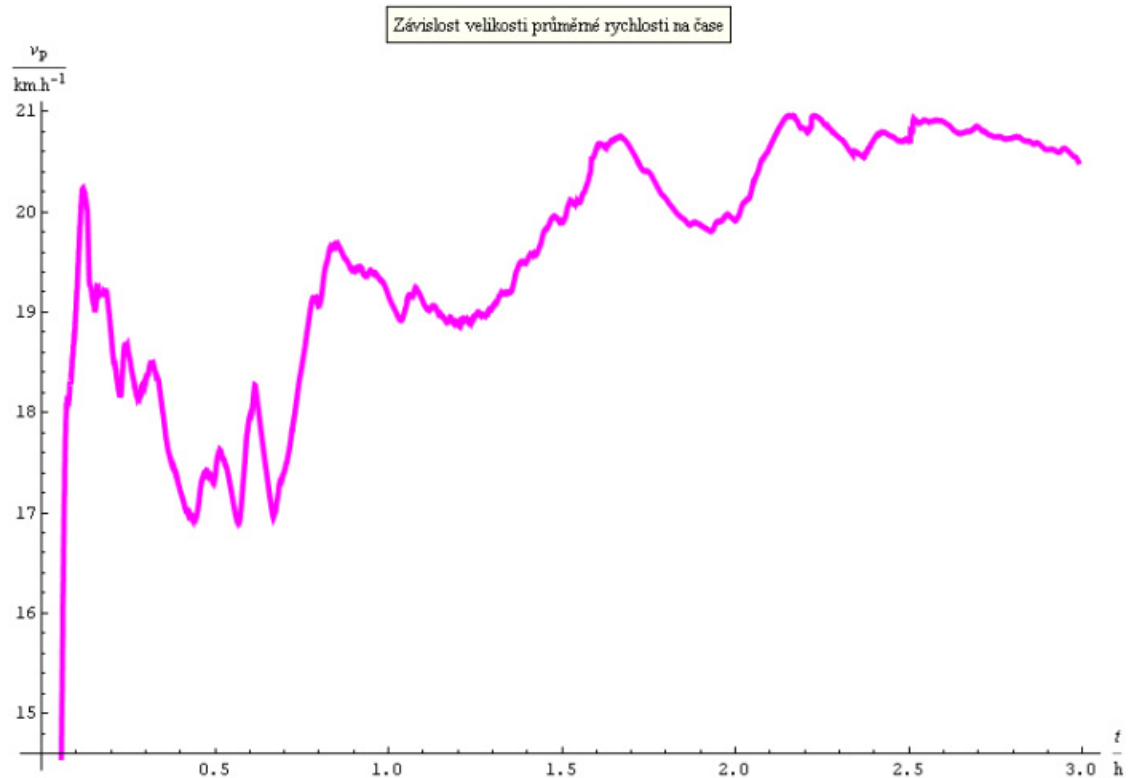
přičemž jednotlivé souřadnice bodů A a B počítáme pomocí vztahů (1) až (3).

Převedeme-li tyto výpočty do programu Mathematica, můžeme sestrojít graf závislosti uražené dráhy na čase, který je zobrazen na obr. 9. K sestrojení tohoto grafu je nutné přírůstky dráhy mezi jednotlivými zaznamenanými body vypočtené podle vztahu (4) navzájem sčítat, abychom získali celkovou dráhu uraženou v konkrétním čase.



J. Reichl, 2011

obr. 9



Na základě dat použitých k vykreslení grafu na obr. 9 je možné sestavit také graf závislosti velikosti průměrné rychlosti na čase. Tento graf je zobrazen na obr. 10. Je zřejmé, že se velikost průměrné rychlosti během jízdy měnila v závislosti na terénu, kterým jsem

projížděl. Tento graf tedy ukazuje fakt, že velikost průměrné rychlosti není během určitého pohybu konstantní, ale mění se v závislosti na změnách velikosti okamžité rychlosti pohybu.

Vzhledem k tomu, že máme k dispozici v programovém systému Mathematica již všechna potřebná data, vykreslil jsem do grafu závislosti uražené dráhy na čase (viz obr. 9) též závislost, která odpovídá pohybu se stálou velikostí rychlosti. Touto velikostí rychlosti přitom je velikost průměrné rychlosti během celého sledovaného pohybu, tj. velikost průměrné rychlosti, která byla v systému Mathematica spočítána (a následně zobrazena v grafu na obr. 10) jako poslední. Obě popisované závislosti jsou zobrazeny v jednom grafu, který je na obr. 11.

Ačkoliv jsou v datech pořízených senzorem GPS drobné nepřesnosti, je tento senzor zdrojem dat, z nichž je možné vysledovat i další charakteristiky pohybu. A to zůstaly zatím nevyužity pro další zpracování údaje o směru, kterým jsem se v daném okamžitém čase pohyboval.

Závěr a další možnosti

Práce se senzorem GPS připojeným k dataloggeru LabQuest je velmi jednoduchá a základní grafy je možné získat po exportu dat do programu LoggerPro velmi rychle a snadno. Navíc práce s podobnými přístroji žáky (resp. studenty) většinou baví, a tak je mnohem snadnější v určité fázi práce přejít od hraní si s přístrojem k fyzikálnímu popisu sledovaného děje, než kdybychom sledovaný děj pouze popisovali nebo používali učebnicové zadání „hmotný bod A se pohybuje tak, že ...“. Ano, tato míra abstrakce je pro žáky (resp. studenty) nutná, nicméně fyzikálně popsat a vysvětlit děj, který si žáci sami zaznamenali nebo byl zaznamenán jejich učitelem, je daleko cennější. Uvědomí si, že fyzikální zákony a poučky, které při vysvětlování tohoto děje používáme, nejsou pouze nic neříkající fráze z učebnice, ale že s jejich použitím lze popsat a vysvětlit reálné děje, které žáci (resp. studenti) sami prožívají.

Další zpracování dat, které jsem prováděl v programovém systému Mathematica, sice vyžaduje jistou znalost a zručnost při práci s tímto systémem, nicméně zpracovat v příloženém notebooku svá vlastní data je velmi jednoduché. V případě, že je pro uživatele systém Mathematica nedostupný, lze podobné zpracování dat provést i v tabulkovém editoru (např. Excel).

Tento typ úlohy otevírá další možnosti práce a hledání odpovědí na další otázky, které ve výše uvedeném textu nebyly položeny:

1. Žáci si mohou zaznamenat vlastní pohyb, který si sami vymyslí. V případě mladších žáků nebo žáků, kteří nejsou technicky zaměřeni, lze tuto úlohu spojit s rozvojem jejich prostorové představivosti a uměleckým cítěním: mohou si „nakreslit obrázek“, který si sami navrhnu.
2. Technicky nadanější žáci mohou graficky zpracovat také např. závislost velikosti průměrné rychlosti na nadmořské výšce. A na základě tohoto grafu a grafu závislosti velikosti průměrné rychlosti na čase (viz obr. 10) pak mohou usuzovat na fyzickou kondici cyklisty, na narůstající únavu, ...
3. Na základě grafu, který je zobrazen na obr. 11, lze určit ty časové intervaly, ve kterých se cyklista pohyboval rychleji, než byla aktuální velikost průměrné rychlosti, intervaly, na kterých se pohyboval pomaleji, a intervaly, na kterých byla velikost jeho rychlosti stejná jako aktuální velikost průměrné rychlosti. Svá tvrzení by měli žáci (resp. studenti) umět vysvětlit a podpořit správnou argumentací.
4. ...

Všechny tyto úkoly nejen, že povedou k lepšímu pochopení fyzikální podstaty řešené úlohy, ale přispějí též ke schopnosti žáků (resp. studentů) řešit problémy, klást si otázky, hledat souvislosti v zobrazených grafech, ...

Zdroje

[1] <http://www.vernier.com>

[2] http://jreichl.com/fyzika/vernier/videonavody/import_dat/import_dat.htm