

Laboratorní cvičení č.5

jméno: Jan Novák

třída: kvinta C

šk. rok: 2004/05

naměřeno: 30. 2. 2005

Téma: Studium kinematických veličin hlemýždě zahradního

Pracovní úkol:

1. Sledujte pohyb hlemýždě zahradního.
2. Určete typ pohybu dle tvaru jeho trajektorie dle grafu okamžité rychlosti.
3. Určete okamžitou a průměrnou rychlost sledovaného pohybu.
4. Určete okamžité zrychlení sledovaného pohybu.

Pomůcky:

Hlemýžď zahradní (*Helix pomatia*), list milimetrového papíru A4, tužka, stopky, posuvné měřidlo, šřavnatý zelený list.

Teorie:

Mezi základní kinematické veličiny, které budeme studovat, patří trajektorie, okamžitá rychlost a okamžité zrychlení (popř. pouze jejich velikosti).

Trajektorie

Trajektorii rozumíme křivku, po které se hmotný bod při svém pohybu popisuje. Podle tvaru trajektorie rozdělujeme pohyby na dva základní typy:

1. *přímocharé* – jsou to pohyby, jejichž trajektorií je přímka nebo úsečka (pád kamene na zem, pohyb tužkou při rýsování podle pravítka,...)
2. *křivočaré* – jsou pohyby, které mají za trajektorii libovolnou křivku. Kupříkladu v případě pohybu hlemýždě je trajektorie vyznačena jeho slinami. Zvláštním případem jsou zde trajektorie ve tvaru kružnic, kdy hovoříme o pohybu hmotného bodu po kružnici.

Dráha

Délka trajektorie, kterou hmotný bod opíše za určitý čas, se nazývá *dráha*. Dráha hmotného bodu závisí na čase, po který se hmotný bod pohyboval. Tuto závislost lze zobrazit do grafu, v němž se na osu vodorovnou vynáší čas, na osu svislou dráha.

Rychlost

Chceme-li vyhodnocovat změnu polohy zkoumaného objektu, zejména jde-li o rychlost změny jeho polohy, zavádíme veličinu *rychlost*. Okamžitá rychlost je vektorová fyzikální veličina, která má vždy směr tečny k dané trajektorii hmotného bodu a je orientována ve směru změny uražené dráhy.

Polohu zkoumaného objektu popisujeme pomocí polohového vektoru \vec{r} . Jestliže objekt pohybuje z bodu A do bodu B, mění se polohový vektor např. z \vec{r}_1 na \vec{r}_2 . Změnu polohového vektoru pak popisuje vektor posunutí $\Delta\vec{r}$ (viz obr. 1). Platí tedy: $\vec{r}_2 = \vec{r}_1 + \Delta\vec{r}$.

Změní-li se poloha za určitý časový interval Δt , veličinu *okamžitá rychlost*, pak lze definovat následujícím vztahem:

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}, \quad (1)$$

kde pro časový interval platí: $\Delta t \rightarrow 0$.

Skalární veličinu *průměrná rychlost* zavádíme definičním vztahem (2):

$$v_p = \frac{s_c}{t_c} \quad (2)$$

kde s_c je celková dráha uražená za celkovou dobu t_c .

Zrychlení

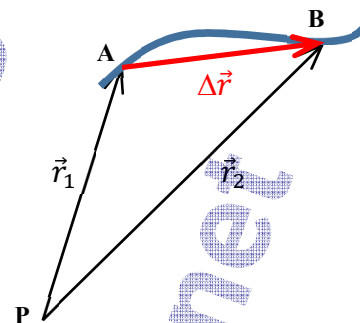
Pokud se hmotný bod nepohybuje rovnoměrně přímočaře, má význam definovat fyzikální veličinu, popisující změnu rychlosti, a to tzv. *zrychlení*. Zcela obdobně rychlosti (jakožto změně polohy) lze u zrychlení dojít k následujícímu závěru, který vychází ze změny okamžité rychlosti:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad (3)$$

Pracovní postup:

Položíme hlemýžď na milimetrový papír A4 a vyčkáme, až se začne pohybovat. Ve chvíli, kdy se hlemýžď začne pohybovat, spustíme stopky a v pravidelných časových intervalech (10 s) tužkou budeme zakreslovat do sítě milimetrového papíru polohu hlemýžďe. Zakreslujeme opatrně, protože nežádoucí dotyk hlemýžďe výrazně sníží jeho rychlost. Okamžitou rychlost lze zvýšit vnaďením šťavnatým listem.

Po nasbírání dostatečného počtu okamžitých poloh (cca 50) pokus ukončíme. Jednotlivé vyznačené body na milimetrovém papíře spojíme tužkou podle pravítka. Je-li použitý časový interval dobře zvolen, lze (s ohledem na celkovou rychlost pohybu hlemýžďe) takto vzniklé úsečky považovat za vektory posunutí. Pokud zaznameneáme přímo souřadnice jednotlivých poloh, k čemuž nám poslouží milimetrový papír, získáme přesné polohy hlemýžďe, ze kterých lze určit i vektor posunutí a dle vzorce (1) přímo určit i okamžitou rychlost.



Obrázek. 1 – zavedení pojmu „vektor posunutí“

Pokud budeme chtít určit průměrnou rychlost, případně časovou závislost okamžité rychlosti, potřebujeme učit celkovou dráhu zkoumaného pohybu. Pro získání průměrné rychlosti dle (2) musíme získat délku vzniklé křivky, kterou budeme považovat na lomenou čáru, jejíž dílčí části určíme následujícím způsobem.

Posune-li se hlemýžď z bodu A $[x_A; y_A]$ do body B $[x_B; y_B]$, je velikost dráhy s_i mezi body A a B dána vztahem:

$$s_i = |AB| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (4)$$

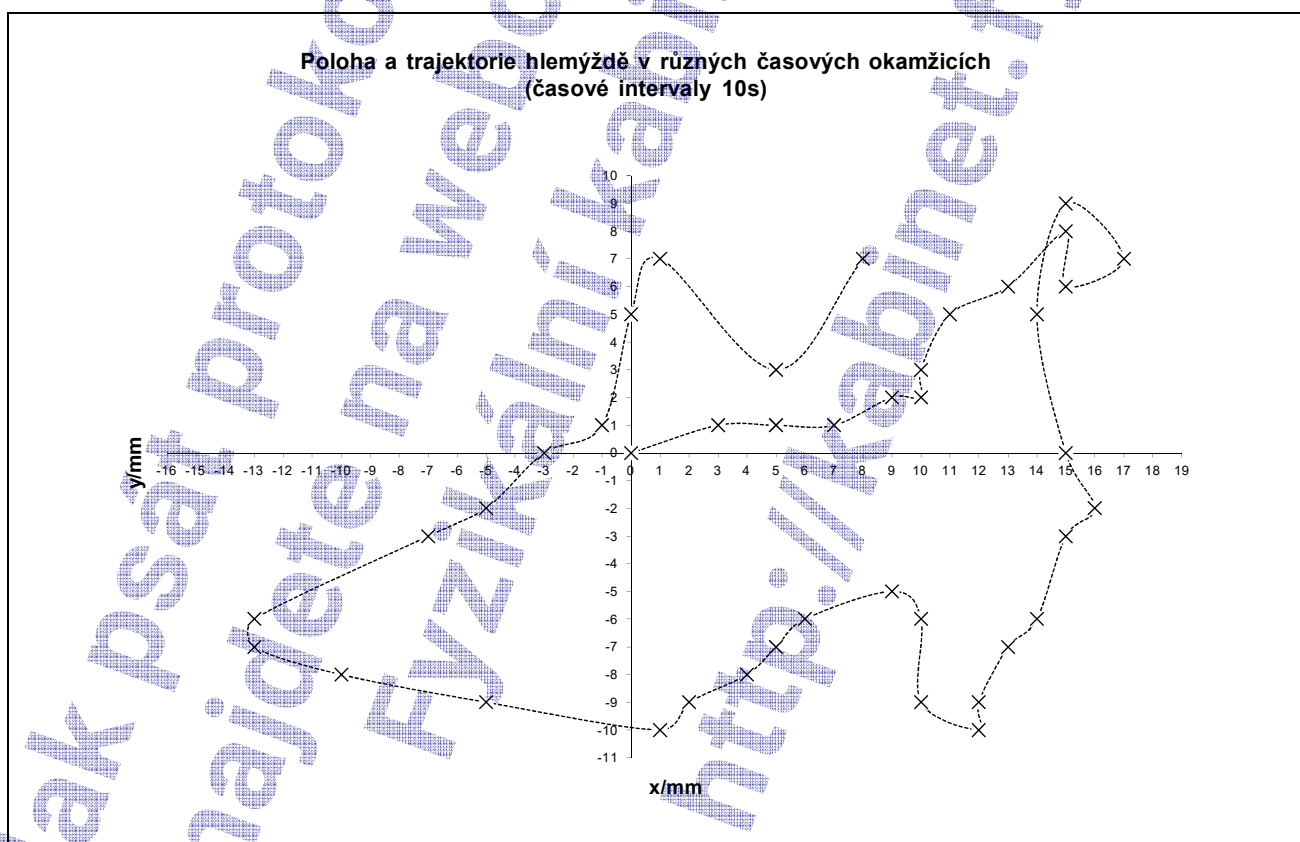
Celkovou dráhu s_c pak získáme jako součet těchto N jednotlivých posunutí ze vztahu (4):

$$s_c = \sum_{i=1}^N s_i$$

Průměrnou rychlost pohybu hlemýžďe pak určíme ze vztahu (2).

Výsledky měření

Zvolili jsme počátek souřadného systému s počátkem v místě startu hlemýžďe, osa x byla volena tak, aby byla rovnoběžná s počátečním směrem hlemýžďe. Trajektorii hlemýžďe zachycuje obrázek 2. V tabulce 1 jsou zaneseny x -ové a y -ové souřadnice poloh na konci jednotlivých časových intervalů. Přesnost zakreslení a chyba odečtení je ± 1 mm.



Obrázek 2 – Trajektorie hlemýžďe ve zvolené souřadné soustavě.

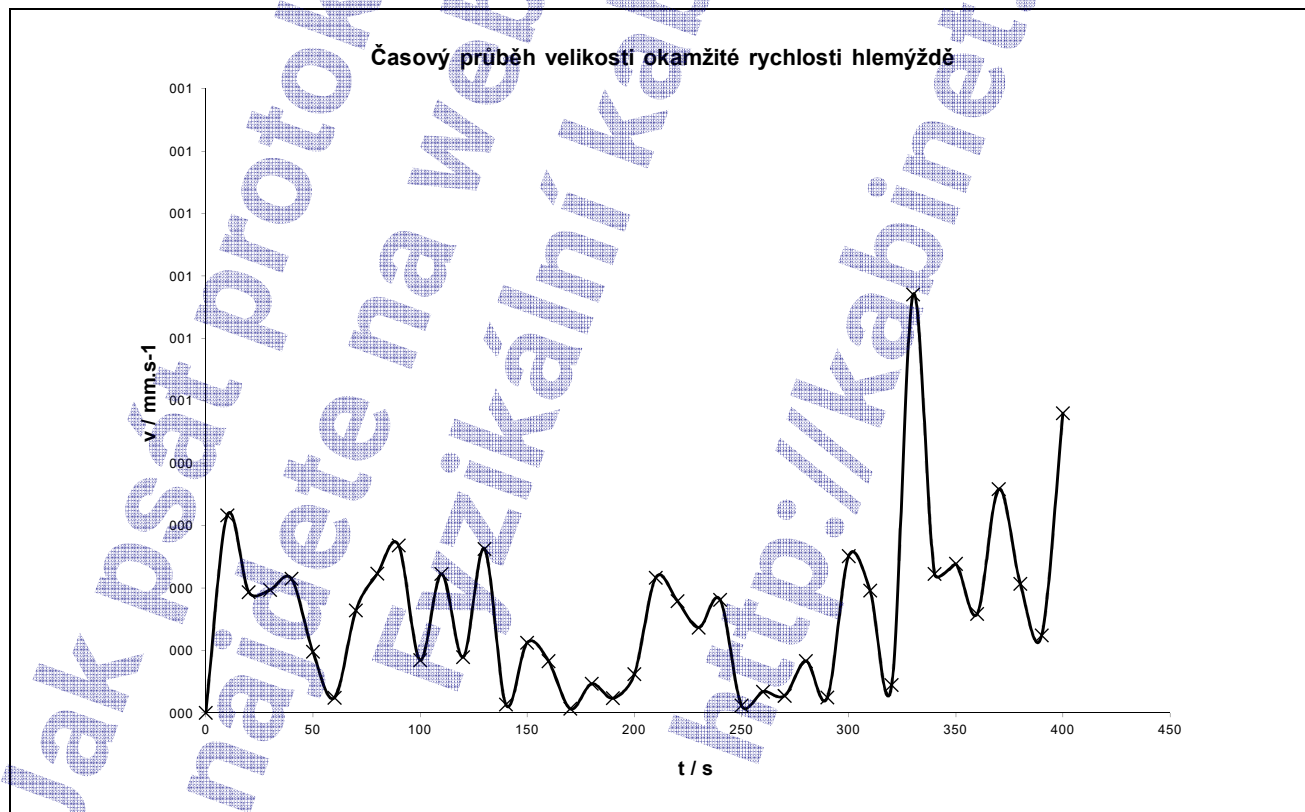
č. m.	t (s)	x (mm)	y (mm)	v (mm/s)
1	s	mm	mm	mm/s
2	0	0	0	0
3	10	3	1	0,316
4	20	5	1	0,194
5	30	7	1	0,197
6	40	9	2	0,215
7	50	10	2	0,098
8	60	10	3	0,024
9	70	11	5	0,164
10	80	13	6	0,223
11	90	15	8	0,268
12	100	15	6	0,084
13	110	17	7	0,223
14	120	15	9	0,089
15	130	14	5	0,263

č. m.	t (s)	x (mm)	y (mm)	v (mm/s)
16	s	mm	mm	mm/s
17	140	15	0	0,013
18	150	16	-2	0,112
19	160	15	-3	0,083
20	170	14	-6	0,007
21	180	13	-7	0,047
22	190	12	-9	0,024
23	200	12	-10	0,062
24	210	10	-9	0,217
25	220	10	-6	0,179
26	230	9	-5	0,137
27	240	6	-6	0,181
28	250	5	-7	0,012
29	260	4	-8	0,034
30	270	2	-9	0,028

č. m.	t (s)	x (mm)	y (mm)	v (mm/s)
31	s	mm	mm	mm/s
32	280	1	-10	0,083
33	290	-5	-9	0,025
34	300	-10	-8	0,251
35	310	-13	-7	0,196
36	320	-13	-6	0,045
37	330	-7	-3	0,67
38	340	-5	-2	0,223
39	350	-3	0	0,239
40	360	-1	1	0,159
41	370	0	5	0,359
42	380	1	7	0,207
43	390	5	3	0,124
44	400	8	7	0,48

Tabulka č. 1 – souřadnice polohy hlemýždě a velikost jeho okamžité rychlosti.

Zda se jednalo o pohyb rovnoměrný, či nerovnoměrný, nám ukazuje třetí sloupec tabulky 1, kde vidíme, že hodnota velikosti okamžité rychlosti není konstantní. Lépe však průběh velikosti okamžité rychlosti znázorňuje obrázek 3, který zachycuje graf časové závislosti velikosti okamžité rychlosti hlemýždě.

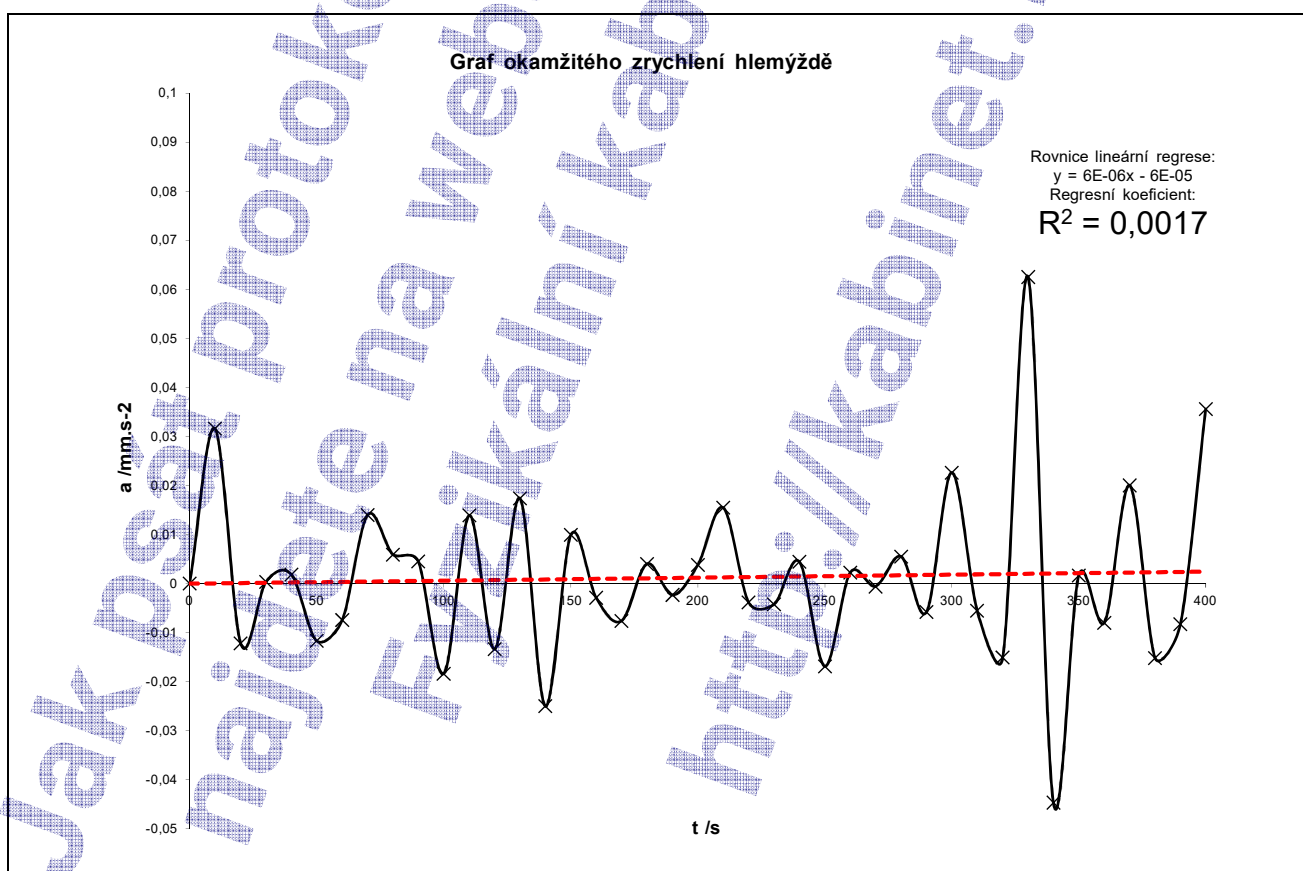


Obrázek č. 3 – Graf časové závislosti velikosti okamžité rychlosti hlemýždě.

Následující tabulka č. 2 a z ní plynoucí obrázek 4 zachycují velikost okamžitého zrychlení, které by opět mělo ukázat, zda se jednalo o pohyb rovnoměrný, případně kupříkladu o pohyb rovnoměrně zrychlený.

č. m.	t (s)	a (mm/s ²)	č. m.	t (s)	a (mm/s ²)	č. m.	t (s)	a (mm/s ²)
1	0	0	15	140	-0,025	30	280	0,0055
2	10	0,0316	16	150	0,0099	31	290	-0,0058
3	20	-0,0122	17	160	-0,0029	32	300	0,0226
4	30	0,0003	18	170	-0,0076	33	310	-0,0055
5	40	0,0018	19	180	0,004	34	320	-0,0151
6	50	-0,0117	20	190	-0,0023	35	330	0,0625
7	60	-0,0074	21	200	0,0038	36	340	-0,0447
8	70	0,014	22	210	0,0155	37	350	0,0016
9	80	0,0059	23	220	-0,0038	38	360	-0,008
10	90	0,0045	24	230	-0,0042	39	370	0,02
11	100	-0,0184	25	240	0,0044	40	380	-0,0152
12	110	0,0139	26	250	-0,0169	41	390	-0,0083
13	120	-0,0134	27	260	0,0022	42	400	0,0356
14	130	0,0174	28	270	-0,0006			

Tabulka č. 2 – Okamžité zrychlení hlemýždě



Obrázek č. 4 – Graf okamžitého zrychlení hlemýždě.

Pro sérii hodnot okamžitého zrychlení jsme se pokusili odhadnout trend zrychlení pomocí lineární regrese (vyznačeno červeně).

Celková dráha hlemýždě je $s = (65,53 \pm 0,01) \text{ mm}^*$
 Průměrná rychlost hlemýždě $v_p = (0,17 \pm 0,03) \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}^*$

Diskuse

Ze zaznamenaných hodnot (viz tab. 1 či obr. 2) vyplývá, že pohyb hlemýždě byl pohybem nerovnoměrným a křivočarým. Trajektorie hlemýždě je zachycena na obrázku č. 2, časová závislost okamžité rychlosti v grafu na obrázku č. 3. Hodnota průměrné rychlosti hlemýždě nám vyšla $v_p = (0,17 \pm 0,03) \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Od stanovení průměrného zrychlení jsme nakonec upustili. K tomu jsme přistoupili po pohledu na graf okamžitého zrychlení (graf na obr. č. 4), kde vidíme, že se zrychlení poměrně značně mění. Jak naznačuje trend tohoto vývoje (určený lineární regresí) jde jen o jakési „fluktuační“ kolem hodnoty $a = 0 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-2}$. Z tohoto důvodu se domníváme, že průměrná hodnota pro nás nemá valnou výpovědní hodnotu, na jejímž základě bychom mohli posoudit, zda hlemýžď na sledované dráze „průměrně zrychloval“ či „zpomaloval“.

Získané výsledky jsou nejvíce zatíženy chybou zakreslení (odhadli jsme ji na $\pm 1 \text{ mm}$), reakční dobou při měření časového intervalu (odhad $\pm 0,1 \text{ s}$). Další chybu jistě do měření vnesl i odečet souřadnic (odhad $\pm 1 \text{ mm}$) z milimetrového papíru. Naopak, chybu určení časového okamžiku díky chybě digitálních stopek, či polohy díky tloušťce tuhy zapisovací tužky jsme zanedbali.

Pro porovnání našich výsledků s nějakou relevantní hodnotou jsme se pokusili získat výsledky alespoň řádové odhady průměrné rychlosti hlemýždě. Dle [1] je maximální rychlost zahradního hlemýždě asi 5 m/h , což odpovídá rychlosti v námi použitých jednotkách necelých $1,4 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost našeho hlemýždě byla přibližně desetkrát menší. S ohledem na to, že v [1] je uvedena rychlost maximální a v našem případě se hlemýžď pohyboval běžnou rychlostí, lze získaný výsledek považovat za odpovídající.

Měření probíhalo v celku hladce. Pro dosažení vyšší rychlosti a tedy i zajímavějších výsledků se ukázalo dobré, papír pod hlemýžděm navlhčit vodou. Metoda zakreslování okamžitých poloh by byla potřeba upravit, protože takto nebylo možné zcela přesně zaznamenat polohy hlemýždě. Bylo třeba značky zakreslovat kousek vedle, protože hlemýžď byl dosti citlivý a na přiblížení hrotu tužky negativně reagoval. To výrazným způsobem ovlivňovalo pohyb hlemýždě, tedy i případný výsledek měření.

Závěr

Sledovali jsme pohyb hlemýždě zahradního (*Helix pomatia*). Na základě našich výsledků lze říci, že se zkoumaný hlemýžď pohyboval nerovnoměrně a křivočaře.

Za dobu našeho experimentu hlemýžď urazil za celkový čas

$$\underline{t_c = (400,0 \pm 0,1) \text{ s}}$$

* Chyby byly v obou případech určeny jako chyby nepřímého měření pomocí relativních odchylek jednotlivých měření.

celkovou dráhu

$$s_c = (65,53 \pm 0,01) \text{ mm.}$$

Průměrná rychlost pohybu pozorovaného hlemýždě je tedy

$$v_p = (0,17 \pm 0,03) \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Zdroje:

- [1] *Hlemýžď zahradní*. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2005. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlem%C3%BD%C5%BE%C4%8F_zahradn%C3%AD. [cit. 2005-11-01].

Jak psát protokol a mnoho dalších najdete na webových stránkách Fyzikální kabinet FyzKAB <http://kabinet.fyzika.net>