

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

## PRAKTIKUM I

Úloha č.: .....VII.....

Název:..... Štúdium harmonických kmitov mechanického oscilátora ..

Vypracoval:.... **Viktor Babjak** ... stud. sk. .. F 11 .. dne..... 7. 3. 2005 .....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: ..... vráceno: .....

Odevzdal dne: .....

Posuzoval: **Prokeš** .....dne ..... výsledek klasifikace .....**1**.....

Připomínky:

Pri literatúre je uvedené, že namiesto uvedených tabuliek je lepšie používať tabuľky  
**Brož, Roskovec, Valouch**

### Pracovné úlohy:

1. Zmerajte tuhosť  $k$  piatich pružín metódou
  - a. statickou
  - b. dynamickou
2. Z merania doby kmitu  $T$  telesa hmotnosti  $m$  zaveseného na pružine určite závislosť uhlovej frekvencie  $\omega$  na  $\sqrt{\frac{k}{m}}$ .
3. Z doby kmitu telesa známej hmotnosti a výchylky pružiny po zavesení tohto telesa určite miestne tiažové zrýchlenie  $g$ .
4. Zostrojte grafy závislostí
  - a.  $w = f\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\right)$
  - b.  $w = f(\sqrt{k})$
  - c.  $w = f\left(\sqrt{\frac{1}{m}}\right)$

### Teoretická časť:

Harmonický kmit je lineárny kmitavý pohyb, ktorý vzniká pôsobením sily  $F$ , ktorá je úmerná okamžitej výchylke  $y$  telesa z rovnovážnej polohy a má opačný smer (smeruje do rovnovážnej polohy)

$$F = -ky, \quad (1)$$

kde  $k$  je konštanta úmernosti ( $k > 0$ ).

Pre okamžitú výchylku z rovnovážnej polohy v čase  $t$  platí

$$y = y_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (2)$$

kde  $y_m$  je amplitúda výchylky,  $\omega$  je uhlová frekvencia a  $\varphi$  je začiatočná fáza.

Uhlová frekvencia súvisí s dobou kmitu podľa vzťahu

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (3)$$

#### Tuhosť pružiny

Sila potrebná k deformácii pružiny  $F_D$  je pre lineárnu pružinu úmerná výchylke

$$F_D = ky, \quad (4)$$

kde konštantu  $k$  nazývame tuhosť pružiny.

#### Statická metóda určenia tuhosti pružiny

Ak zavesíme na pružinu teleso hmotnosti  $m$ , bude na teleso podľa princípu akcie a reakcie pôsobiť pružina silou  $-F_D$ . Výslednú silu pôsobiacu na teleso určíme ako súčet tiažovej sily  $G = mg$  a sily  $-F_D$ . Rovnovážny stav nastane, keď

$$G - F_D = 0, \quad (5)$$

t.j. pre také predĺženie pružiny  $y_0$ , pre ktoré platí

$$y_0 = \frac{G}{k}. \quad (6)$$

Statickou metódou určujeme tuhosť pružiny tak, že pružinu zaťažíme telesom s hmotnosťou  $m$  a pomocou katetometra určíme predĺženie  $y_0$ . Z týchto údajov pomocou vzťahu (6) a lineárnej regresie určíme tuhosť pružiny.

### Dynamická metóda určenia tuhosti pružiny

Tuhoť pružiny môžeme určiť aj tak, že teleso s hmotnosťou  $m$  vychýlime z rovnovážnej polohy, okolo ktorej začne kmitať s uhlovou frekvenciou

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (7)$$

Ak poznáme hmotnosť závažia a určíme periódu kmitov, potom zo vzťahov (3) a (7) určíme tuhoť pružiny

$$k = \frac{4p^2}{T^2} m. \quad (8)$$

Overenie platnosti vzťahu (7) môžeme previesť tak, že pre danú pružinu určíme tuhoť statickou metódou a zo vzťahu (7) vypočítame  $\omega$ . Takto vypočítaná hodnota uhlovej frekvencie sa porovná s hodnotou získanou na základe (3), t.j. z merania doby kmitu závažia hmotnosti  $m$ .

### Tiažové zrýchlenie

Z doby kmitu telesa môžeme určiť miestne tiažové zrýchlenie  $g$ . Teleso zavesíme na pružinu a zistíme predĺženie  $y_0$ . Potom teleso na pružine vo zvislom smere rozkmitáme, určíme dobu kmitu a z (3) vypočítame  $\omega$ . Z rovníc (6) a (7) určíme vzťah pre tiažové zrýchlenie

$$g = \omega^2 y_0. \quad (9)$$

### Podmienky merania:

Podmienky merania sú určené pomocou digitálneho meracieho prístroja:

- teplota:  $t = (25,7 \pm 0,5)^\circ\text{C}$

### Výsledky merania:

#### Meranie statickou metódou

Jednotlivé pružiny (označené číslami 1 – 5) sme zaťažovali závažiami s rôznymi hmotnosťami, pričom interval zaťaženia pre jednotlivé pružiny sme určili podľa odhadu tuhosti pružiny. Intervaly zaťaženia sme zvolili tak, aby sa prekrývali aspoň v štyroch hmotnostiach, aby sme mohli zostrojiť grafy závislosti podľa zadania. Pre pružiny 1 – 3 sme použili závažia v rozmedzí 80 – 180 g, pre pružinu 4 v rozmedzí 80 – 200 g, pre pružinu 5 v rozmedzí 120 – 240 g. Pomocou katetometra sme určovali predĺženie pružiny  $y_0$  v závislosti na hmotnosti závažia  $m$ . Namerané údaje obsahujú *tabuľky 1 a 2*.

Tabuľka 1 – Predĺženie pružiny v závislosti na hmotnosti pre pružiny 1 – 5

	predĺženie pružiny $y_0$ [mm]			
hmotnosť $m$ [g]	pružina 1	pružina 2	pružina 3	pružina 4
80	128	180	108	40
100	160	225	135	51
120	192	271	162	62
140	223	317	189	72
160	255	362	217	83
180	287	407	244	93
200				103

Tabuľka 2 – Predĺženie pružiny 5 v závislosti na hmotnosti

hmotnosť $m$ [g]	120	140	160	180	200	220	240
predĺženie $y_0$ [mm]	27	32	37	42	46	51	55

Chyba určenia predĺženia  $y_0$  je daná chybou katetometra, ktorú vzhľadom k otrasom podlahy v laboratóriu odhadneme na 0,1 mm. Hmotnosť považujeme za určenú presne, možné odchýlky od kalibrovanej hodnoty pokladáme za zanedbateľné. Ďalej zanedbávame chybu spôsobenú tým, že na závažiach bola pripevnená niť pre ich upevnenie na pružine. Hmotnosť nite je určite oveľa menšia ako je hmotnosť jednotlivých závaží. Pružinu pokladáme v zvolenom modeli za nehmotnú, a preto jej hmotnosť neuvažujeme. Tuhosť pružiny vypočítame podľa (6) a spracujeme metódou lineárnej regresie pomocou programu *Origin*, pričom  $G$  považujeme za nezávislú veličinu a  $y_0$  za závislú veličinu. Chybu tuhosti pružiny určíme podľa metódy najmenších štvorcov uvedenej v [3]. Hodnotu tiažového zrýchlenia uvažujeme podľa [4];  $g = 9,80665 m \cdot s^{-2}$ .

Tuhosti jednotlivých pružín:

- pružina 1:  $k_1 = (6,14 \pm 0,03) Nm^{-1}$   $h_{k_1} = 4,9 \cdot 10^{-3}$
- pružina 2:  $k_2 = (4,34 \pm 0,02) Nm^{-1}$   $h_{k_2} = 4,6 \cdot 10^{-3}$
- pružina 3:  $k_3 = (7,25 \pm 0,04) Nm^{-1}$   $h_{k_3} = 5,5 \cdot 10^{-3}$
- pružina 4:  $k_4 = (19,12 \pm 0,29) Nm^{-1}$   $h_{k_4} = 1,5 \cdot 10^{-2}$
- pružina 5:  $k_5 = (42,7 \pm 1,1) Nm^{-1}$   $h_{k_5} = 2,6 \cdot 10^{-2}$

*Meranie dynamickou metódou:*

Pri dynamickej metóde sme určovali periódu harmonických kmitov, ktoré vykonáva závažie na pružine, ak ho vychýlime z rovnovážnej polohy. Jednotlivé periódy sme merali pomocou digitálnych stopiek riadených sieťovou frekvenciou. Pre každú pružinu sme určovali dobu desiatich kmitov, pričom na zvýšenie presnosti sme každé meranie opakovali päťkrát. Pri meraní doby kmitu sú lepšie menšie výchylky z rovnovážnej polohy, pri ktorých je meranie presnejšie. Chyba digitálnych stopiek je zanedbateľná voči chybe experimentátora, ktorú odhadujeme na 0,2 s. Namerané hodnoty pre jednotlivé pružiny obsahujú *tabuľky 3 – 7*.

*Tabuľka 3 – Doby kmitu pre pružinu 1*

$m [g]$	$10 T [s]$					$\mu_T [s]$	$\sigma [s]$
	1. meranie	2. meranie	3. meranie	4. meranie	5. meranie		
80	7,11	7,15	7,15	7,16	7,12	0,714	0,020
100	8,01	7,99	8,02	7,99	8,04	0,801	0,020
120	8,72	8,81	8,75	8,76	8,71	0,875	0,020
140	9,41	9,45	9,48	9,47	9,49	0,946	0,020
160	10,02	9,98	10,04	10,01	9,99	1,001	0,020
180	10,60	10,62	10,56	10,65	10,60	1,061	0,020

*Tabuľka 4 – Doby kmitu pre pružinu 2*

$m [g]$	$10 T [s]$					$\mu_T [s]$	$\sigma [s]$
	1. meranie	2. meranie	3. meranie	4. meranie	5. meranie		
80	8,73	8,69	8,68	8,69	8,72	0,870	0,020
100	9,65	9,63	9,65	9,68	9,63	0,965	0,020
120	10,49	10,51	10,48	10,50	10,51	1,050	0,020
140	11,19	11,20	11,18	11,21	11,25	1,121	0,020
160	11,85	11,96	11,97	11,95	11,93	1,193	0,020
180	12,40	12,39	12,45	12,48	12,49	1,244	0,020

Tabuľka 5 – Doby kmitu pre pružinu 3

m [g]	10 T [s]					$\mu_T$ [s]	$\sigma$ [s]
	1. meranie	2. meranie	3. meranie	4. meranie	5. meranie		
80	6,71	6,77	6,73	6,76	6,74	0,674	0,020
100	7,55	7,49	7,55	7,48	7,48	0,751	0,020
120	8,18	8,21	8,23	8,24	8,17	0,821	0,020
140	8,90	8,86	8,88	8,89	8,91	0,889	0,020
160	9,43	9,51	9,54	9,46	9,43	0,947	0,020
180	10,11	10,13	10,13	10,12	10,09	1,012	0,020

Tabuľka 6 – Doby kmitu pre pružinu 4

m [g]	10 T [s]					$\mu_T$ [s]	$\sigma$ [s]
	1. meranie	2. meranie	3. meranie	4. meranie	5. meranie		
80	4,09	4,17	4,11	4,10	4,12	0,412	0,020
100	4,59	4,54	4,60	4,53	4,60	0,457	0,020
120	5,08	4,99	4,96	4,97	5,04	0,501	0,020
140	5,46	5,45	5,48	5,41	5,44	0,545	0,020
160	5,92	5,81	5,77	5,92	5,82	0,585	0,020
180	6,14	6,19	6,20	6,19	6,16	0,618	0,020
200	6,53	6,51	6,46	6,46	6,45	0,648	0,020

Tabuľka 7 – Doby kmitu pre pružinu 5

m [g]	10 T [s]					$\mu_T$ [s]	$\sigma_T$ [s]
	1. meranie	2. meranie	3. meranie	4. meranie	5. meranie		
120	3,30	3,31	3,23	3,31	3,25	0,328	0,020
140	3,59	3,51	3,47	3,51	3,53	0,352	0,020
160	3,70	3,76	3,75	3,80	3,80	0,376	0,020
180	4,00	3,99	4,04	3,99	4,01	0,401	0,020
200	4,20	4,19	4,19	4,20	4,19	0,419	0,020
220	4,48	4,40	4,41	4,42	4,43	0,443	0,020
240	4,60	4,59	4,64	4,58	4,61	0,460	0,020

$\mu_T$  je stredná hodnota nameraného súboru dôb kmitu a  $\sigma_T$  je chyba určenia času.  $\sigma_T$  určíme ako kvadratický priemer štatistickej chyby určenia času a chyby spôsobenej reakčnou dobou experimentátora. Tuhosť pružiny vypočítame podľa vzťahov (3), (7) a spracujeme metódou lineárnej regresie pomocou programu *Origin*, pričom  $4\pi^2 m$  považujeme za nezávislú veličinu a  $T^2$  za závislú veličinu. Chybu určenia tuhosti pružiny určíme podobne ako pri statickej metóde. Tuhosti jednotlivých pružín:

- pružina 1:  $k_1 = (6,22 \pm 0,28)Nm^{-1}$   $h_{k_1} = 4,5 \cdot 10^{-2}$
- pružina 2:  $k_2 = (4,36 \pm 0,16)Nm^{-1}$   $h_{k_2} = 3,7 \cdot 10^{-2}$
- pružina 3:  $k_3 = (6,99 \pm 0,34)Nm^{-1}$   $h_{k_3} = 4,9 \cdot 10^{-2}$
- pružina 4:  $k_4 = (18,7 \pm 1,4)Nm^{-1}$   $h_{k_4} = 7,5 \cdot 10^{-2}$
- pružina 5:  $k_5 = (44,5 \pm 4,5)Nm^{-1}$   $h_{k_5} = 1,0 \cdot 10^{-1}$

Závislosť  $\omega$  na  $\sqrt{\frac{k}{m}}$  :

Vzťah (7) overíme tak, že porovnáme uhlové rýchlosti určené podľa vzťahu (3), do ktorého dosadíme dobu kmitu určenú pri dynamickej metóde, a podľa vzťahu (7), do ktorého dosadíme tuhosť pružiny, určenú pri statickej metóde. Chybu určenia uhlovej rýchlosti vypočítame podľa prenosu chýb, vid' [3]. Vypočítané uhlové rýchlosti a ich chyby pre jednotlivé pružiny obsahujú tabuľky 8 – 12.

Tabuľka 8 – Uhlové rýchlosti  $\omega_{stat}$  a  $\omega_{dyn}$  pre pružinu 1

$m$ [g]	80	100	120	140	160	180
$\omega_{stat}$ [ $s^{-1}$ ]	8,75	7,83	7,15	6,63	6,20	5,85
$S_{w_{stat}}$ [ $s^{-1}$ ]	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
$\omega_{dyn}$ [ $s^{-1}$ ]	8,80	7,84	7,18	6,64	6,28	5,92
$S_{w_{dyn}}$ [ $s^{-1}$ ]	0,25	0,20	0,16	0,14	0,13	0,11

Tabuľka 9 – Uhlové rýchlosti  $\omega_{stat}$  a  $\omega_{dyn}$  pre pružinu 2

$m$ [g]	80	100	120	140	160	180
$\omega_{stat}$ [ $s^{-1}$ ]	7,38	6,60	6,01	5,561	5,202	4,910
$S_{w_{stat}}$ [ $s^{-1}$ ]	0,02	0,02	0,01	0,006	0,006	0,006
$\omega_{dyn}$ [ $s^{-1}$ ]	7,22	6,51	5,98	5,60	5,27	5,05
$S_{w_{dyn}}$ [ $s^{-1}$ ]	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08

Tabuľka 10 – Uhlové rýchlosti  $\omega_{stat}$  a  $\omega_{dyn}$  pre pružinu 3

$m$ [g]	80	100	120	140	160	180
$\omega_{stat}$ [ $s^{-1}$ ]	9,53	8,52	7,78	7,20	6,72	6,34
$S_{w_{stat}}$ [ $s^{-1}$ ]	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
$\omega_{dyn}$ [ $s^{-1}$ ]	9,32	8,37	7,65	7,07	6,63	6,21
$S_{w_{dyn}}$ [ $s^{-1}$ ]	0,28	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12

Tabuľka 11 – Uhlové rýchlosti  $\omega_{stat}$  a  $\omega_{dyn}$  pre pružinu 4

$m$ [g]	80	100	120	140	160	180	200
$\omega_{stat}$ [ $s^{-1}$ ]	15,66	13,87	12,58	11,67	10,87	10,27	9,76
$S_{w_{stat}}$ [ $s^{-1}$ ]	0,20	0,14	0,10	0,08	0,07	0,05	0,05
$\omega_{dyn}$ [ $s^{-1}$ ]	15,25	13,75	12,54	11,53	10,74	10,17	9,70
$S_{w_{dyn}}$ [ $s^{-1}$ ]	0,74	0,60	0,50	0,42	0,37	0,33	0,30

Tabuľka 12 – Uhlové rýchlosti  $\omega_{stat}$  a  $\omega_{dyn}$  pre pružinu 5

$m$ [g]	120	140	160	180	200	220	240
$\omega_{stat}$ [ $s^{-1}$ ]	19,06	17,51	16,28	15,28	14,59	13,87	13,35
$S_{w_{stat}}$ [ $s^{-1}$ ]	0,35	0,27	0,21	0,18	0,15	0,13	0,12
$\omega_{dyn}$ [ $s^{-1}$ ]	19,2	17,8	16,71	15,67	15,00	14,18	13,66
$S_{w_{dyn}}$ [ $s^{-1}$ ]	1,2	1,0	0,89	0,78	0,72	0,64	0,59

*Tiažové zrýchlenie:*

Tiažové zrýchlenie určíme zo vzťahu (9) pre všetky pružiny a všetky hmotnosti. Chybu určenia tiažového zrýchlenia určíme podľa prenosu chýb, vid' [3]. Vypočítané hodnoty obsahujú *tabuľky 13 a 14*.

*Tabuľka 13 – Tiažové zrýchlenie pre pružiny 1 – 4*

<i>m [g]</i>	<i>pružina 1</i>		<i>pružina 2</i>		<i>pružina 3</i>		<i>pružina 4</i>	
	<i>g [ms<sup>-2</sup>]</i>	<i>σ<sub>g</sub> [ms<sup>-2</sup>]</i>	<i>g [ms<sup>-2</sup>]</i>	<i>σ<sub>g</sub> [ms<sup>-2</sup>]</i>	<i>g [ms<sup>-2</sup>]</i>	<i>σ<sub>g</sub> [ms<sup>-2</sup>]</i>	<i>g [ms<sup>-2</sup>]</i>	<i>σ<sub>g</sub> [ms<sup>-2</sup>]</i>
80	9,91	0,57	9,38	0,44	9,38	0,57	9,30	0,93
100	9,83	0,51	9,54	0,38	9,46	0,50	9,64	0,86
120	9,90	0,44	9,69	0,36	9,48	0,47	9,75	0,79
140	9,83	0,42	9,94	0,36	9,45	0,43	9,57	0,71
160	10,06	0,42	10,05	0,34	9,54	0,41	9,57	0,67
180	10,06	0,38	10,38	0,33	9,41	0,37	9,62	0,63
200							9,69	0,61

*Tabuľka 14 – Tiažové zrýchlenie pre pružinu 5*

<i>m [g]</i>	120	140	160	180	200	220	240
<i>g [ms<sup>-2</sup>]</i>	9,9	10,2	10,3	10,3	10,4	10,25	10,26
<i>σ<sub>g</sub> [ms<sup>-2</sup>]</i>	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,95	0,91

Celkové namerané tiažové zrýchlenie určíme ako aritmetický priemer hodnôt *tabuliek 13 a 14*. Podobným spôsobom určíme aj chybu tiažového zrýchlenia.

Tiažové zrýchlenie:

- $g = (9,78 \pm 0,66)ms^{-2}$                        $h_g = 6,7 \cdot 10^{-2}$

*Grafické závislosti:*

Závislosť  $w = f\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\right)$  znázorňuje *graf 1*; závislosť  $w = f(\sqrt{k})$  znázorňuje *graf 2* a závislosť

$w = f\left(\sqrt{\frac{1}{m}}\right)$  znázorňuje *graf 3*.

### **Diskusia výsledkov:**

Tuhosti jednotlivých pružín určené pomocou statickej a dynamickej metódy sa v rámci svojich chýb zhodujú. Na chybu tuhosti pružiny určenej pomocou statickej metódy má vplyv len chyba predĺženia pružiny. Meranie tuhosti pružín dynamicou metódou je zaťažené väčšou chybou. Relatívna chyba tuhosti pružiny je v rozmedzí od 3,7 % pre *pružinu 2* až po 10 % pre *pružinu 5*. Je to spôsobené vysokou chybou merania časov danou reakčnou dobou experimentátora. Meraním desiatich periód pre každú hmotnosť sa chyba zníži o rád. Väčšia relatívna chyba tuhosti pružiny je spôsobená aj tvarom vzťahu (8), v ktorom doba kmitu sa vyskytuje v druhej mocnine, t.j. chyba doby kmitu sa prejaví dvojnásobne na chybe tuhosti pružiny.

Závislosť  $\omega$  na  $\sqrt{\frac{k}{m}}$  je znázornená v *grafe 1*; na základe nej môžeme potvrdiť platnosť vzťahu (7). Na overenie vzťahu (7) je nutné a postačujúce, aby smernica preloženej

priamky  $a$  v grafe 1 bola rovná 1. Pomocou programu *Origin* sme váženou lineárnou regresiou pre smernicu  $a$  dostali hodnotu  $a = (0,9995 \pm 0,0045)$ , čo overuje platnosť vzťahu (7).

V grafe 2 je znázornená závislosť  $\omega$  na  $\sqrt{k}$ , pričom za tuhosť pružiny dosadzujeme hodnoty určené pomocou statickej metódy. Preložené priamky sme stanovili lineárnou regresiou, pričom pre ich smernice  $b$  by malo platiť  $b = \sqrt{\frac{1}{m}}$  (10). Pomocou programu *Origin* sme určili nasledujúce smernice  $b_1 = (2,87 \pm 0,03)$ ,  $b_2 = (2,67 \pm 0,03)$ ,  $b_3 = (2,51 \pm 0,03)$ ,  $b_4 = (2,38 \pm 0,02)$ , čo v rámci chyby zodpovedá teoretickým hodnotám určeným podľa (10). Odchýlky od teoretickej hodnoty súvisia s tým, že zanedbávame hmotnosť pružín.

V grafe 3 je vynesená závislosť  $\omega$  na  $\sqrt{\frac{1}{m}}$ , ktorá je ekvivalentná regresnej závislosti, preto sú priamky v grafe 3 vypočítané z tuhosti pružín meraných dynamickou metódou.

Priemerná hodnota tiažového zrýchlenia v rámci chyby súhlasí s tabuľkovou hodnotou uvedenou v [4]. Uvedená priemerná hodnota je zaťažená veľkou chybou (relatívna chyba je 6,2 %), je to spôsobené nepresným určením doby kmitu. Vo vzťahu pre tiažové zrýchlenie sa doba kmitu vyskytuje v druhej mocnine, t.j. na chybe tiažového zrýchlenia sa prejaví dvojnásobne. Na presné stanovenie tiažového zrýchlenia táto metóda nie je veľmi vhodná.

### Záver:

Pomocou statickej metódy sme určili nasledujúce tuhosti piatich pružín

- pružina 1:  $k_1 = (6,14 \pm 0,03)Nm^{-1}$   $h_{k_1} = 4,9 \cdot 10^{-3}$
- pružina 2:  $k_2 = (4,34 \pm 0,02)Nm^{-1}$   $h_{k_2} = 4,6 \cdot 10^{-3}$
- pružina 3:  $k_3 = (7,25 \pm 0,04)Nm^{-1}$   $h_{k_3} = 5,5 \cdot 10^{-3}$
- pružina 4:  $k_4 = (19,12 \pm 0,29)Nm^{-1}$   $h_{k_4} = 1,5 \cdot 10^{-2}$
- pružina 5:  $k_5 = (42,7 \pm 1,1)Nm^{-1}$   $h_{k_5} = 2,6 \cdot 10^{-2}$

Pomocou dynamickej metódy sme určili nasledujúce tuhosti pružín

- pružina 1:  $k_1 = (6,22 \pm 0,28)Nm^{-1}$   $h_{k_1} = 4,5 \cdot 10^{-2}$
- pružina 2:  $k_2 = (4,36 \pm 0,16)Nm^{-1}$   $h_{k_2} = 3,7 \cdot 10^{-2}$
- pružina 3:  $k_3 = (6,99 \pm 0,34)Nm^{-1}$   $h_{k_3} = 4,9 \cdot 10^{-2}$
- pružina 4:  $k_4 = (18,7 \pm 1,4)Nm^{-1}$   $h_{k_4} = 7,5 \cdot 10^{-2}$
- pružina 5:  $k_5 = (44,5 \pm 4,5)Nm^{-1}$   $h_{k_5} = 1,0 \cdot 10^{-1}$

Z merania doby kmitu závažia zavesené na pružine a pomocou tuhosti pružiny určenej pomocou statickej metódy sme overili platnosť vzťahu (7).

Z doby kmitu telesa na pružine známej hmotnosti a predĺženia pružiny po zavesení tohto telesa sme určili miestne tiažové zrýchlenie

- $g = (9,78 \pm 0,66)ms^{-2}$   $h_g = 6,7 \cdot 10^{-2}$

Jednotlivé závislosti zobrazujú grafy 1, 2 a 3.

### Literatúra:

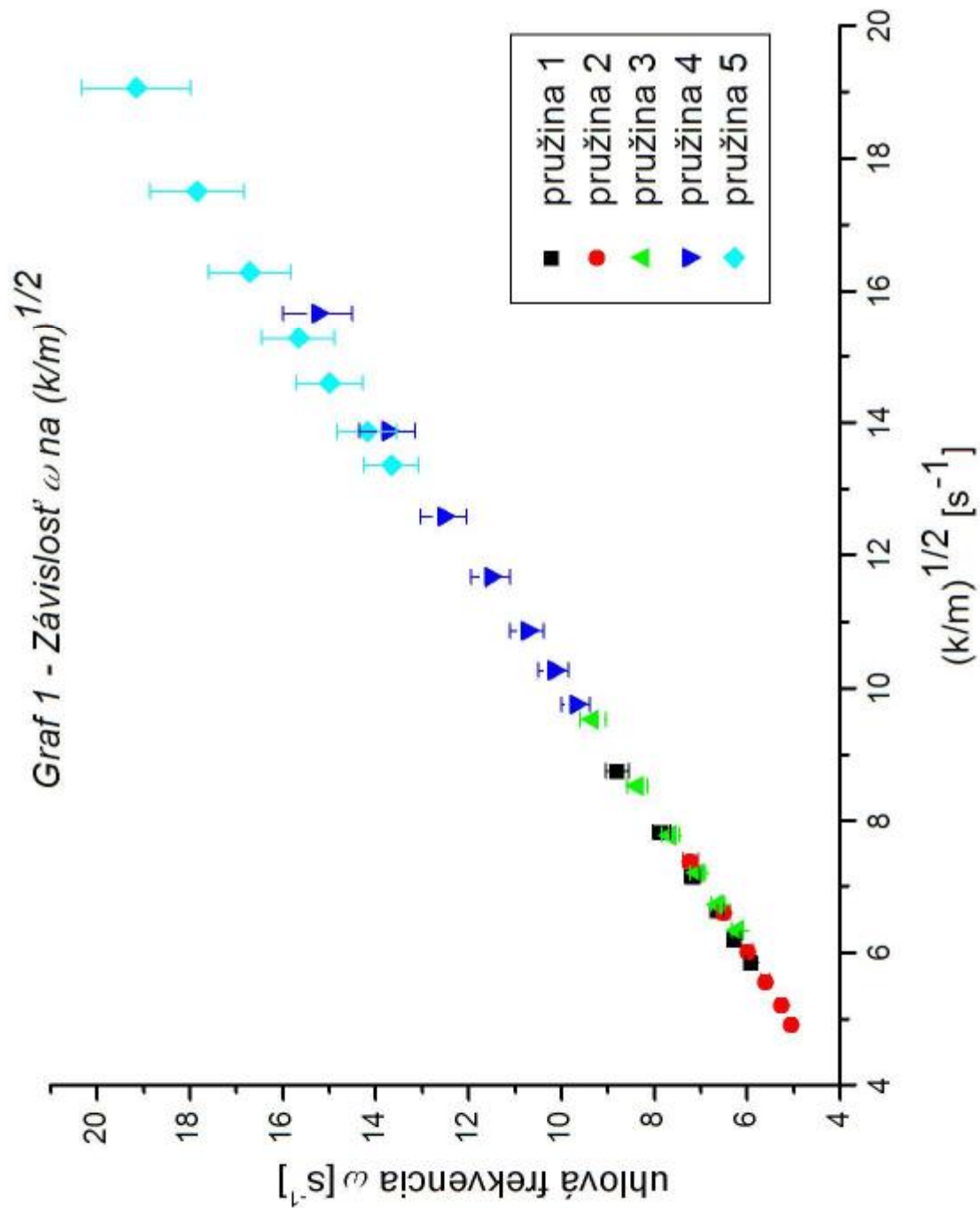
[1] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření I; SPN; Praha 1967; kap. 2.2, st. 2.2.2, čl. 2.2.2.4

[2] Študijný text z www stránky fyzikálneho praktika MFF UK

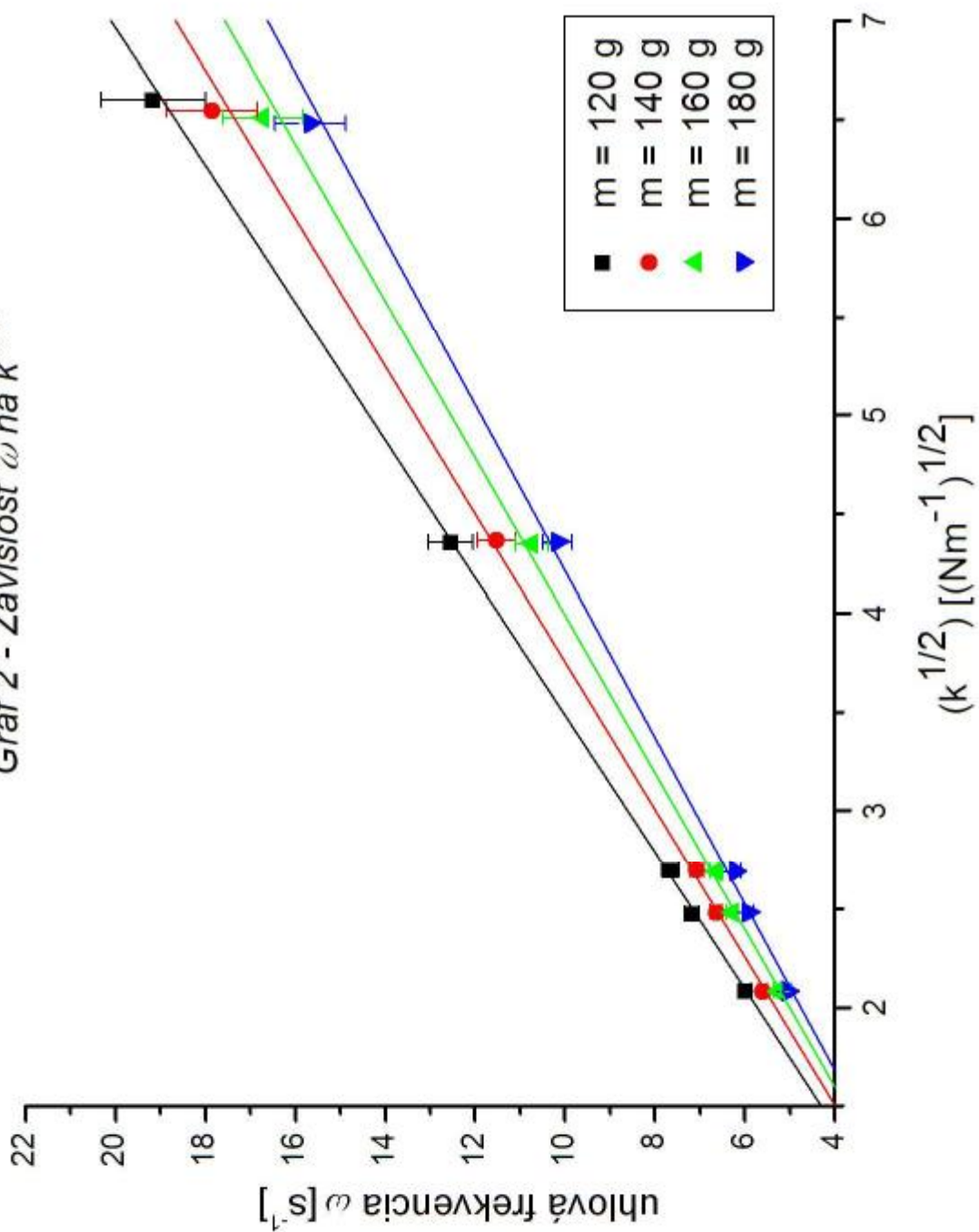


[3] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, LS 1999/2000

[4] Mikulčák, J. a kol.; Matematické, fyzikálne a chemické tabuľky pre SŠ; SPN; Bratislava 2002



Graf 2 - Závislosť  $\omega$  na  $k^{1/2}$



- pružina 1
- pružina 2
- ▲ pružina 3
- ▼ pružina 4
- ◆ pružina 5

Graf 3 - Závislost  $\omega$  na  $(1/m)^{1/2}$

