



STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA SĎĚLOVACÍ TECHNIKY

110 00 Praha 1, Panská 856/3,

☎ 221 002 111, 📠 221 002 666, www.panska.cz, e-mail: sekretariat@panska.cz



ABSOLVENTSKÝ PROJEKT

Výuka mechaniky se systémem PASCO

Autor

Tomáš Kotvald

Studijní obor:

78-42-M/01 Technické lyceum

Školní rok:

2015/2016

Typ projektu:

D - soubor úloh

Kód třídy: **12L**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

V Praze dne 27. května 2016

.....

Podpis

Tato stránka bude nahrazena oficiálními ředitelem podepsanými zadáními všech řešitelů
(ve druhém výtisku práce jejich kopiemi)

ANOTACE

Tento absolventský projekt obsahuje sbírku deseti experimentů prováděných pomocí měřicího systému PASCO. Tento systém je v práci stručně popsán. Každý z experimentů je rozdělen do několika částí. První částí je teoretický úvod, poté je postup měření, výsledky měření a vzorový pracovní list, který je obsažen v příloze. Práce zachycuje více částí fyziky od skládání sil až po dynamiku.

Klíčová slova: hydraulický lis, kladkostroj, modul pružnosti materiálu v tahu, moment setrvačnosti, páka, potenciální energie, převod, smykové tření, tuhost pružiny, vztlaková síla

ANNOTATION

This graduation project contains a collection of ten experiments carried out with the help of the measuring system PASCO. This system is briefly described in the work. Each experiment is divided into several parts. First part is a theoretical introduction, after that is measurement procedures, measurement results and sample worklist, which is attached as an annex. Project captures more of physics from the composition of forces after dynamics.

Keywords: hydraulic press, hoist, modulus of elasticity in tension, moment of inertia, lever, potential energy, convert, sliding friction, stiffness of the spring, lifting force

Obsah

1	Úvod	7
2	Systém PASCO	8
3	Experiment 1 – Smykové tření	10
3.1	Teorie	10
3.2	Postup měření	11
3.3	Výsledky měření	12
4	Experiment 2 – Páka	13
4.1	Teorie	13
4.2	Postup měření	14
4.3	Výsledky měření	15
5	Experiment 3 – Kladkostroj	16
5.1	Teorie	16
5.2	Postup měření	17
5.3	Naměřené hodnoty	18
6	Experiment 4 – Modul pružnosti materiálu v tahu	19
6.1	Teorie	19
6.2	Postup měření	19
6.3	Výsledky měření	20
7	Experiment 5 - Hydraulický lis	21
7.1	Teorie	21
7.2	Postup měření	22
7.3	Výsledky měření	23
8	Experiment 6 - Převod	24
8.1	Teorie	24
8.2	Postup měření	24
8.3	Výsledek měření	25
9	Experiment 7 - Tuhost pružiny	26
9.1	Teorie	26
9.2	Postup měření	27
9.3	Výsledky měření	27
10	Experiment 8 - Vztlková síla	28

10.1	Teorie	28
10.2	Postup měření	28
10.3	Výsledky měření	29
11	Experiment 9 - Potenciální energie	30
11.1	Teorie	30
11.2	Postup měření	30
11.3	Výsledky měření	31
12	Experiment 10 - Moment setrvačnosti	32
12.1	Teorie	32
12.2	Postup měření	32
12.3	Výsledky měření	34
13	Závěr	36
	Seznam použitých značek a symbolů	37
	Seznam použité literatury a zdrojů informací	38
	Seznam použitého softwaru	39
	Seznam příloh	40

1 Úvod

Cílem absolventského projektu je vytvoření sbírky deseti experimentů. Každý experiment je změřen pomocí systému PASCO. Systém PASCO jsem poprvé viděl na hodině fyziky, když jsme pomocí jeho čidel měřili teplotu. Tento systém mě velice zaujal. Firma PASCO nevyrábí pouze čidla pro fyziku, ale i pro chemii, biologii a zeměpis. Proto jsem si dané téma vybral. Práce obsahuje experimenty z více částí fyziky od skládání sil, jako je například třecí síla, přes hydrostatiku až po dynamiku, jako je například moment setrvačnosti. Ke každému z těchto experimentů jsem pro studenty vytvořil vzorový pracovní list. Tyto pracovní listy by mohli studenti využít při svých laboratorních pracích. Na úvod práce je obecné shrnutí systému PASCO. Práce je dělena do deseti kapitol. V každé kapitole jsou tři podkapitoly teorie, postup měření, výsledky měření. Vzorové pracovní listy jsou uvedeny v příloze, stejně jako obrázky čidel, které jsem použil.

2 Systém PASCO

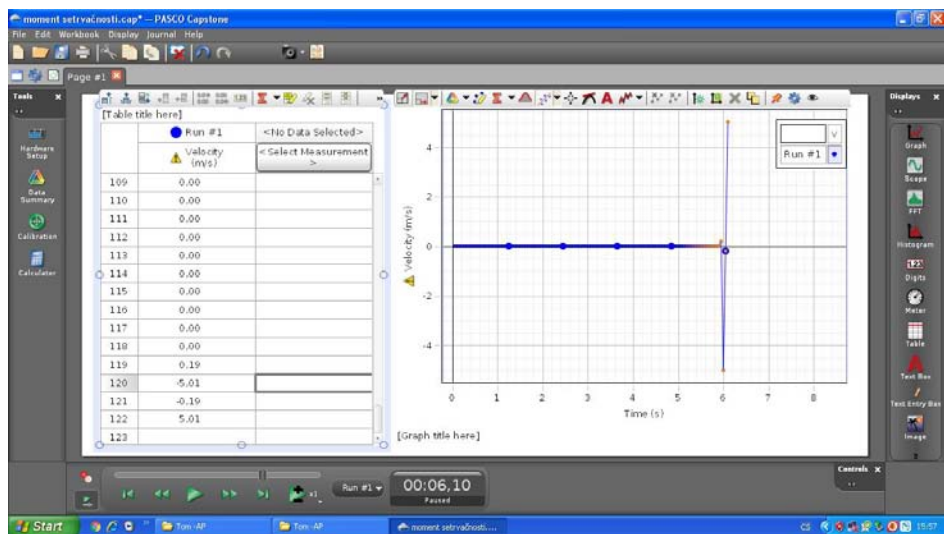
Systém PASCO slouží jako kompletní platforma pro realizaci experimentů ve výuce přírodních věd. Společnost PASCO vyrábí již více než 40 let kompletní vybavení pro experimentální výuku přírodních věd. Firma se tímto snaží přilákat lidi k zájmu o přírodní vědy. Firma vznikla v Kalifornii.

PASCO vyrábí senzory pro následující vědní obory:

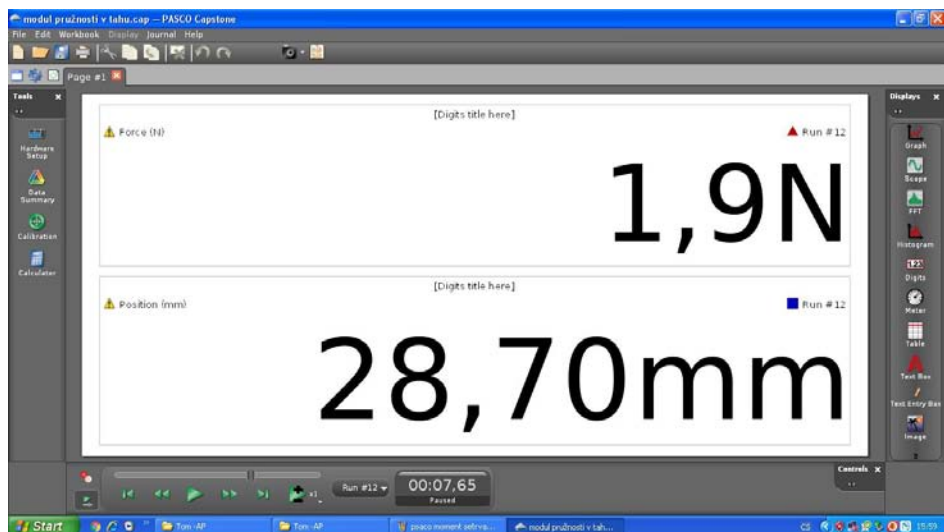
- fyzika
- chemie
- zeměpis
- biologie

Software který umožňuje měření:

- PASCO Capstone
 - placený
 - kompatibilní s:
 - * Windows 7 a starší
 - * Mac OS X 10.7 nebo novější
 - klady:
 - * intuitivní ovládání
 - * přehledně uspořádané naměřené hodnoty
 - zápory:
 - * složité nalezení kalibrace čidel



Obrázek 1: PASCO Capstone - 1.nastavení



Obrázek 2: PASCO Capstone - 2.nastavení

3 Experiment 1 – Smykové tření

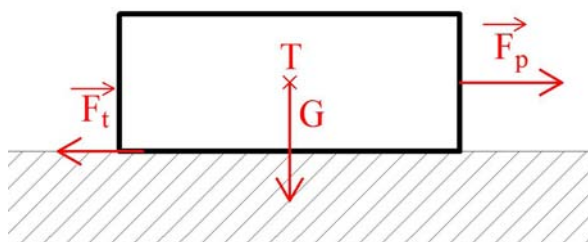
3.1 Teorie

Smykové tření je fyzikální jev, který vzniká při posunu jednoho tělesa po druhém.

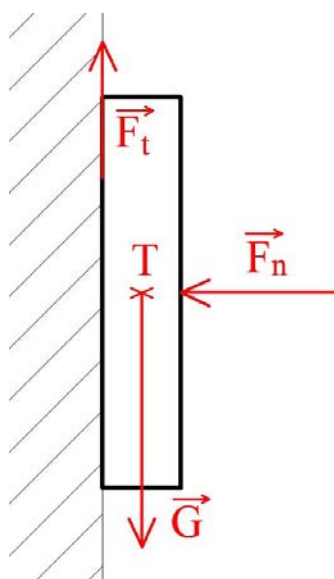
Původem jevu je především *nerovnost* obou kontaktních ploch, kterými se tělesa společně dotýkají. Při posouvání těles na sebe nerovnosti povrchů narážejí, *deformují se a obrušují*. Tak vzniká *síla třecí*, označovaná F_t (obr. 3, obr. 4)¹.

Vlastnosti F_t :

- působí ve stykové ploše mezi tělesy
- působí proti směru pohybové síly F_p
- vztah: $F_t = Gf$ nebo $F_t = F_n f$ (síly G , F_n jsou síly přítláčné)
- jednotky: $[F_t] = \text{N}$



Obrázek 3: Třecí síla - vodorovná rovina



Obrázek 4: Třecí síla - svislá rovina

¹<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/36-smykove-treni> [cit.2015-12-06]

3.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor síly (S_1 , příloha 1), senzor pohybu (S_2 , příloha 1)
2. Pomůcky a materiál: dřevěná deska, dřevěný kvádr (rozměry kontaktní plochy (25,5 x 9,9 cm), plech (o rozměrech 23,7 x 5,3 cm), papírová kniha, gumový puk, plastová deska, smirkový papír
3. Vztahy: součinitel smykového tření $f = \frac{F_t}{G}$
4. Postup:
 - (a) čidla jsem připojil k rozhraní a nastavil jsem si software PASCO Capstone
 - (b) pomocí senzoru síly, na který jsem zavěsil těleso, jsem změřil tíhu G
 - (c) po deskách z různých materiálů jsem táhl tělesa z různých materiálů
 - (d) pomocí čidla pro měření velikosti síly jsem změřil sílu F_p , kterou musím působit, abych překonal třecí sílu
 - (e) naměřené hodnoty jsem zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 1)
 - (f) vypočítal jsem součinitel smykového tření pomocí vzorce $f = \frac{F_t}{G}$



- 1 - plastová deska
- 2 - dřevěná deska
- 3 - smirkový papír
- 4 - dřevěný kvádr
- 5 - papír
- 6 - guma
- 7 - plech

Obrázek 5: Třecí síla - pomůcky



Obrázek 6: Třecí síla - měření

3.3 Výsledky měření

Naměřené hodnoty (tab. 1) jsou zatíženy chybou způsobenou nerovnoměrným tahem. Dala by se odstranit elektrickým motorkem, který by rovnoměrně navíjel provázek, na kterém je uvázané těleso tažené po podložce. Naměřená hodnota součinitele smykového tření f v případě, že třeme dřevo na dřevu se oproti tabulkám příliš neliší, ale např. ocel na dřevu se liší značně.

Použité materiály	Tíhová síla [G] = N	Rychlost [v] = m/s	Síla [F] = N	Součinitel smykového tření [f] = 1
dřevo na dřevě	5,5	0,0269	2,112	0,38
plech na dřevě	9,8	0,0501	5,668	0,58
papír na dřevě	3,4	0,0224	1,517	0,45
guma na dřevě	1,7	0,0474	0,857	0,50
guma na plástu	1,7	0,0435	0,574	0,34
dřevo na plástu	5,5	0,0373	1,859	0,34
plech na plástu	9,8	0,0598	3,183	0,32
papír na plástu	3,4	0,0392	1,207	0,36
dřevo na smirkovém papíře	5,5	0,1019	3,618	0,66
plech na smirkovém papíře	9,8	0,0598	5,941	0,61
papír na smirkovém papíře	3,4	0,0381	1,904	0,56
guma na smirkovém papíře	1,7	0,0608	1,135	0,67

Tabulka 1: Koeficient smykového tření - vlastní měření

Dvojce materiálu	f	f ₀
ocel na oceli (suché)	0,06	0,15
ocel na dřevu (suché)	0,3	0,5
ocel na ledu (suché)	0,01	0,03
dřevo na dřevu (suché)	0,3	0,5
kůže na litiňe (suché)	0,3	0,6
guma na ledu (suché)		0,1
guma na asfaltu (suché)		0,6
guma na asfaltu (mokrém)		0,3

Tabulka 2: Koeficient smykového tření - Matematické, fyzikální a chemické tabulky

f - součinitel smykového tření v pohybu, závisí na jakosti třecích ploch

f_0 - součinitel smykového tření, začíná-li pohyb z klidu

Naměřené hodnoty jsou měřené za pohybu

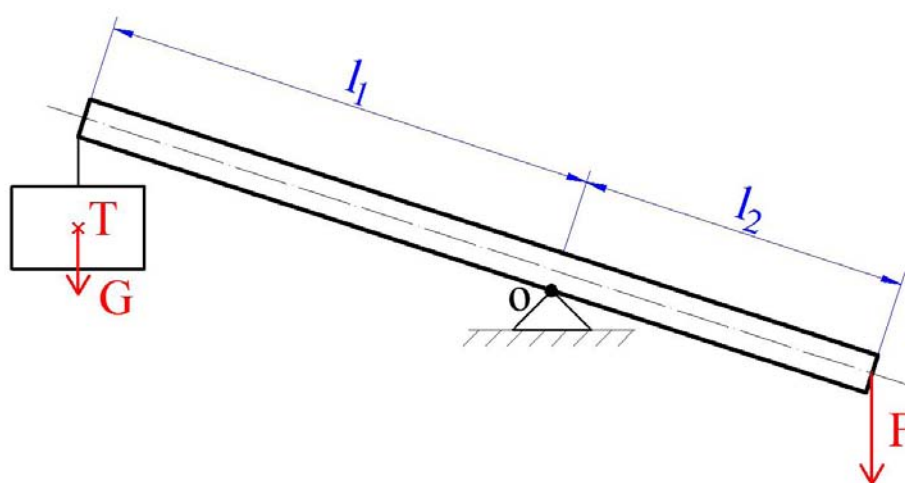
4 Experiment 2 – Páka

4.1 Teorie

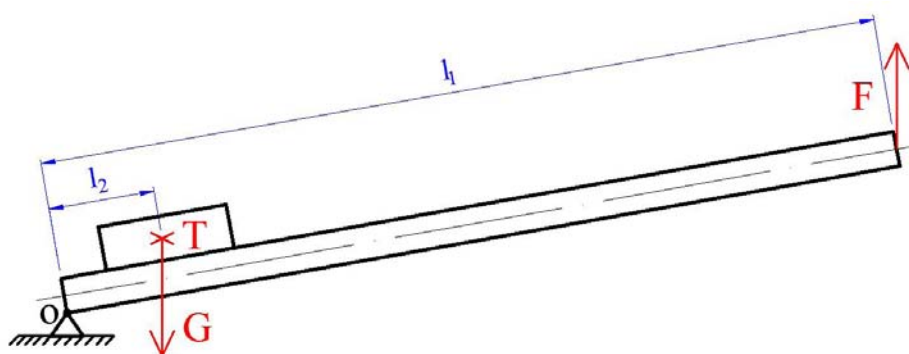
Páka je jednoduchý stroj. Skládá se z ramene l_1 , na kterém je zavěšeno těleso tíhy G a z ramene l_2 , na které působíme silou F , abychom zvedli zavěšené těleso (obr. 7). Páka se používá pro zmenšení síly, kterou musíme vynaložit na zvednutí břemene².

Dělení páky:

1. jednozvrtná - břemeno i síla působí na *stejně* straně od osy otáčení³ (obr. 8)
2. dvouzvrtná - břemeno a síla působí na *opačných* stranách od osy otáčení⁴ (obr. 7)



Obrázek 7: Páka dvouzvrtná



Obrázek 8: Páka jednozvrtná

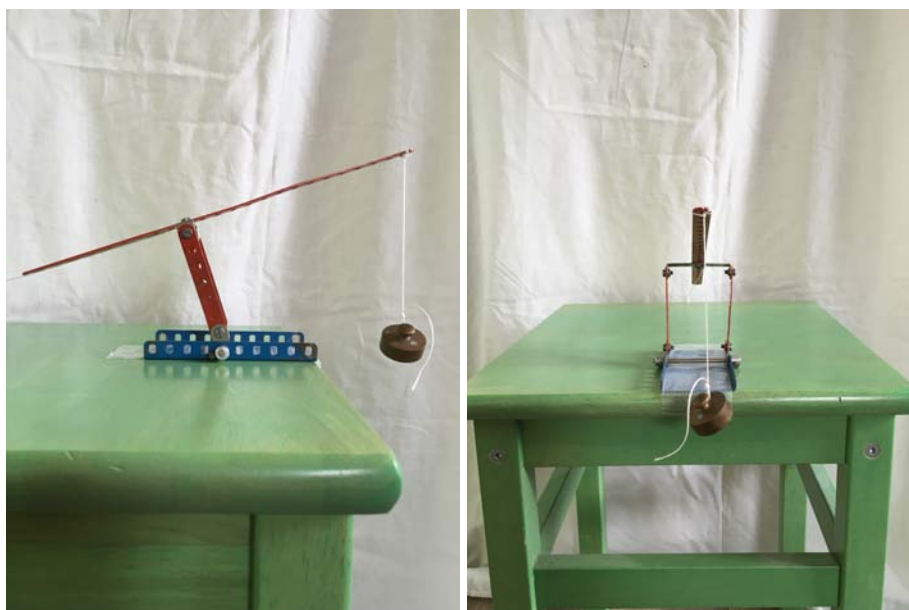
²OTTO, Jan. *Ottův slovník naučný: ilustrovaná encyklopaedie obecných vědomostí*. Praha: J. Otto, 1902.

³<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/93-paka-jednozvrtna> [cit.2016-02-22]

⁴<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/94-paka-dvojzvrtna> [cit.2016-02-22]

4.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor síly (S_1 , příloha 1)
2. Pomůcky: stavebnice Merkur, závaží
3. Vztahy: $G = \frac{Fl_2}{l_1}$
4. Postup:
 - (a) ze stavebnice Merkur jsem si postavil dvouzvratnou páku (obr. 9)
 - (b) čidlo pro měření velikosti síly jsem zapojil do rozhraní a nastavil jsem program PASCO Capstone
 - (c) pomocí tohoto čidla jsem změřil sílu F , kterou musím působit, abych zvedl těleso, které jsem zavěsil na opačnou stranu páky než je čidlo
 - (d) naměřené hodnoty jsem si zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 3)
 - (e) pro provedení dalšího měření jsem změnil délky ramen l_1 a l_2
 - (f) vypočítal jsem tíhu břemene pomocí vzorce $G = \frac{Fl_2}{l_1}$



Obrázek 9: Páka - měření

4.3 Výsledky měření

Z naměřených hodnot jsem došel k závěru, že páka šetří síly když chceme něco zvednout, protože nemusíme vynaložit tak velkou sílu jako kdybychom zvedali břemeno bez použití páky. Pokud jsou ramena páky stejně dlouhá neusnadní nám páka sílu vůbec. Pokud jsou ramena různě dlouhá, jako u druhého pokusu, síla na zvednutí břemene se zmenší o 42%.

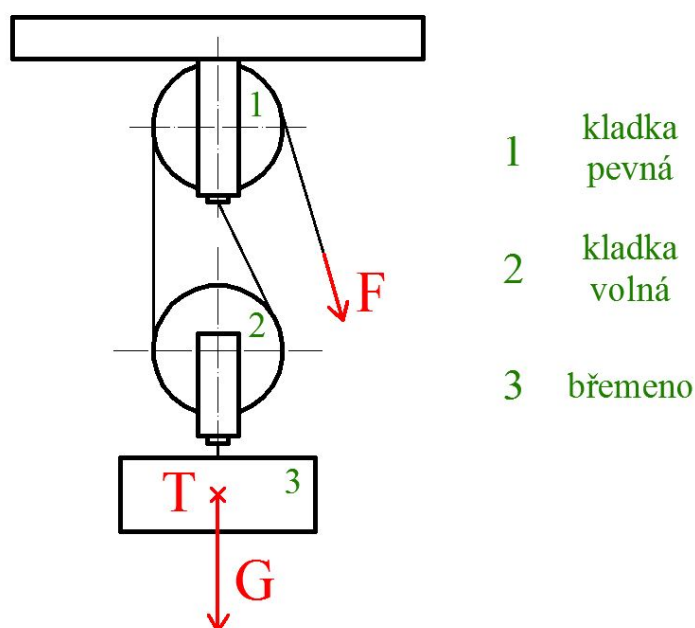
Páka	1. pokus	2. pokus
Délka ramene $[l_1] = \text{mm}$	24,95	14,5
Délka ramene $[l_2] = \text{mm}$	24,95	24,6
Tíhová síla $[G] = \text{N}$	1,9	1,9
Síla $[F] = \text{N}$	1,9	1,1

Tabulka 3: Páka naměřené hodnoty

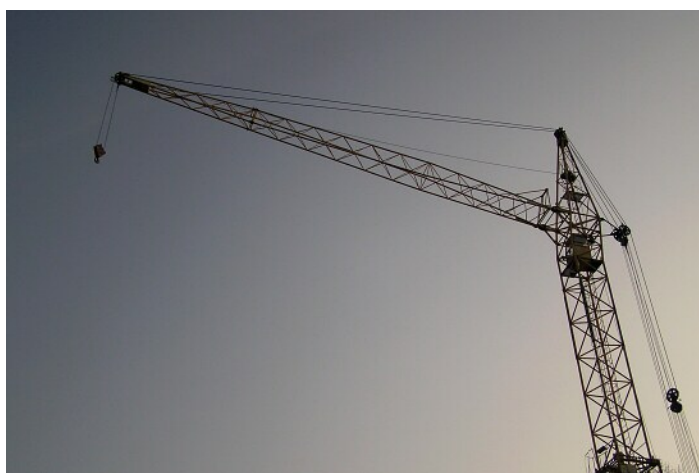
5 Experiment 3 – Kladkostroj

5.1 Teorie

Kladkostroj je jednoduchý mechanismus, který má za úkol *zmenšovat* sílu F , kterou zvedám břemeno tíhy G . Nejjednodušší kladkostroj se skládá ze *dvou kladek*, jedné volné a druhé pevné (obr. 10). Kladkostroje se používají u *stavebních jeřábů* (obr. 11) a dalších zařízeních⁵.



Obrázek 10: Kladkostroj

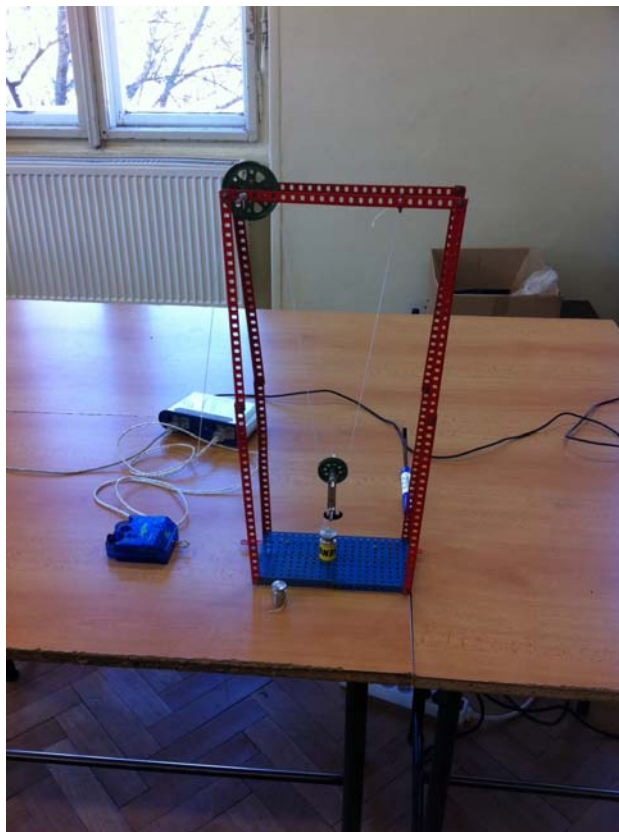


Obrázek 11: Jeřáb

⁵<http://www.animfyzika.wz.cz/kladkostroj.html> [cit.2015-12-06]

5.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor síly (S_1 , příloha 1)
2. Pomůcky: stavebnice Merkur, závaží
3. Vztahy: $G = 2F$
4. Postup:
 - (a) ze stavebnice Merkur jsem si postavil jednoduchý kladkostroj
 - (b) senzor síly jsem připojil k rozhraní a nastavil jsem software PASCO Capstone
 - (c) senzorem síly jsem měřil sílu F , kterou musím vykonat abych zvedl závaží, které jsem měl připevněné provázkem přes kladkostroj k senzoru
 - (d) naměřené hodnoty jsem si zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 4)
 - (e) vypočítal jsem tíhovou sílu závaží pomocí vzorce $G = 2F$



Obrázek 12: Kladkostroj - měření

5.3 Naměřené hodnoty

Z naměřených hodnot (tab. 4) jsem zjistil, že kladkostroj zmenšuje sílu, kterou musím vynaložit na zvednutí břemene. Při použití jedné volné kladky se síla potřebná ke zvednutí břemene zmenší o *polovinu*.

Břemeno	1. břemeno	2. břemeno
Tíha břemene $[G] = N$	5	2,2
Naměřená tíha břemene $[G] = N$	4,9	2,2
Síla táhnutí $[F] = N$	2,5	1,1

Tabulka 4: Kladkostroj naměřené hodnoty

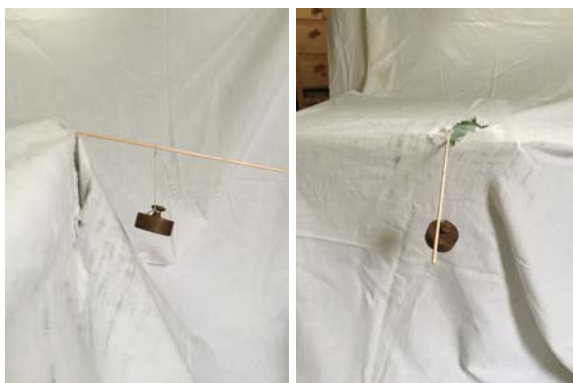
6 Experiment 4 – Modul pružnosti materiálu v tahu

6.1 Teorie

Modul pružnosti materiálu v tahu E je materiálová konstanta. Vypočítá se pomocí upraveného vzorečku pro Hookův zákon $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$. Kde σ je normálové napětí a ε je poměrné prodloužení. Také se může vypočítat pomocí vztahů vycházejících ze vztahu pro průhyb nosníku⁶.

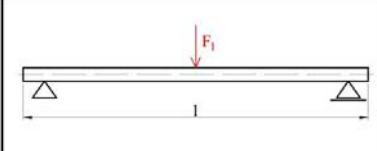
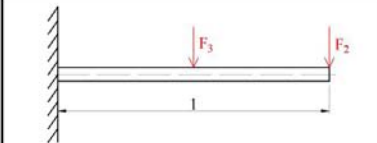
6.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor síly (S_1 , příloha 1), senzor pohybu (S_2 , příloha 1)
2. Pomůcky: špejle, lepicí páska
3. Vztahy: $E = \frac{Fl^3}{48Iy}$, $E = \frac{Fl^3}{3Iy}$, $E = \frac{5Fl^3}{48Iy}$
4. Postup:
 - (a) špejle jsem si přilepil do různých pozic (vetknutý nebo prostý nosník)
 - (b) senzor síly a pohybu jsem připojil do rozhraní a nastavil jsem PASCO Capstone
 - (c) pomocí pravítka jsem změřil průměr špejle
 - (d) špejle jsem začal zatěžovat a průhyby jsem měřil pomocí senzoru pohybu a síly působící na špejle F jsem naměřil pomocí senzoru síly
 - (e) naměřené hodnoty jsem si zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 6)
 - (f) při výpočtu modulu pružnosti v tahu jsem použil vzorce $E_1 = \frac{Fl^3}{48Iy}$, $E_2 = \frac{Fl^3}{3Iy}$,
 $E_3 = \frac{5Fl^3}{48Iy}$



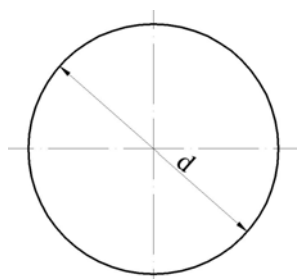
Obrázek 13: Modul pružnosti v tahu - měření

⁶ŠÁMAL, Oldřich. *Mechanika: sbírka řešených úloh*. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-016-7.

Typ nosníku	E - zatížený na konci	E - zatížený uprostřed
		$E_1 = \frac{Fl^3}{48Iy}$
	$E_2 = \frac{Fl^3}{3Iy}$	$E_3 = \frac{5Fl^3}{48Iy}$

Tabulka 5: Typy nosníků

I pro kruhový průřez je $I = \frac{\pi}{64} \cdot d^4$



Obrázek 14: Kruhový průřez

6.3 Výsledky měření

Hodnoty jsou zatížené malou chybou, a proto se od sebe trochu liší. Nejvíce se liší hodnota třetí špejle, protože u tohoto pokusu bylo nejtěžší udržet aby senzor nesjížděl, když byla špejle zatížena. Naměřené hodnoty odpovídají modulu pružnosti jehličnatých dřevin v tahu.

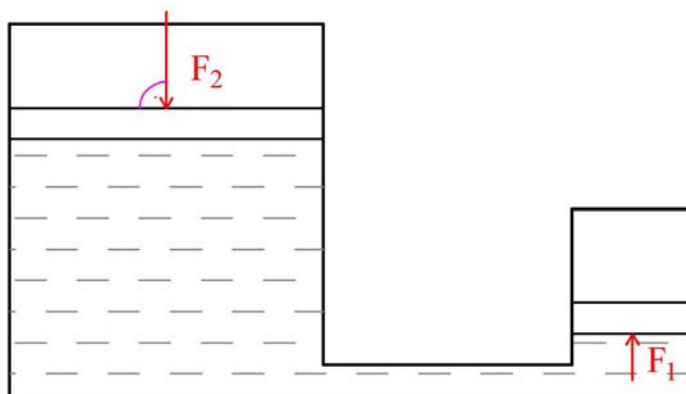
Typ nosníku	1. špejle - prostě podepřeny	2. špejle - vetknutý zatížený na konci	3. špejle - vetknutý zatížený uprostřed
Průměr [d] = mm	3	3	3
Průhyb [y] = mm	19,77	19,98	11
Síla [F] = N	3	2,1	1,7
Délka [l] = mm	218	100	122
Kvadratický moment průřezu [I] = mm ⁴	3,976	3,976	3,976
Modul pružnosti materiálu v tahu [E] = MPa	8237,36	8811,46	7352,07

Tabulka 6: Modul pružnosti v tahu

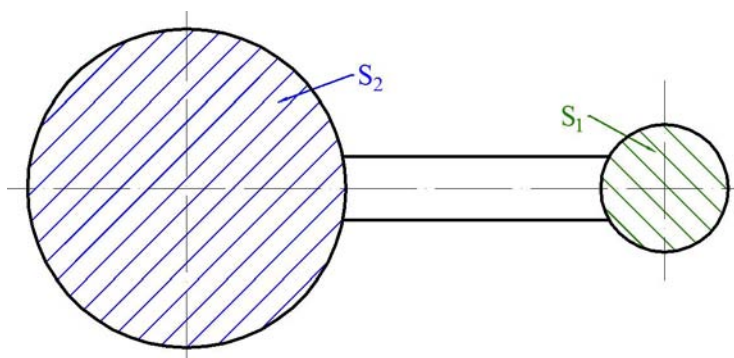
7 Experiment 5 - Hydraulický lis

7.1 Teorie

Hydraulický lis (obr. 15) je stroj, který k vytváření tlaku využívá *vlastností kapaliny*. Ve dvou válcových *nádobách* je uzavřena kapalina. Písty jsou pohyblivé a mají plochy o obsahu S_1 a S_2 . Na píst o ploše S_2 působíme silou F_2 , která je *orientovaná* kolmo k pístu. Tato síla *vyvolá* v kapalině tlak $p = \frac{F_2}{S_2}$, který je podle *Pascalova zákona* ve všech místech kapaliny stejný. Na píst s obsahem S_1 tak působí tlaková síla $F_1 = F_2 \frac{S_1}{S_2}$. Velikosti sil, které na písty působí, jsou ve stejném poměru jako obsahy průřezů obou pístů, tedy $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ ⁷.



Obrázek 15: Hydraulický lis - působení sil



Obrázek 16: Hydraulický lis - obsah ploch pístů

⁷<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/114-hydraulicka-a-pneumaticka-zarizeni> [cit.2015-12-06]

7.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor síly (S_1 , příloha 1)
2. Pomůcky: dvě injekční stříkačky o různých průměrech pístů , hadička, sada závaží, voda
3. Vztahy: $F_2 = \frac{F_1 S_2}{S_1}$
4. Postup:
 - (a) z injekčních stříkaček a trubičky jsem si vyrobil jednoduchý hydraulický lis
 - (b) čidlo na sílu jsem připojil do rozhraní a nastavil jsem PASCO Capstone
 - (c) pomocí pravítka jsem si změřil obsahy pístů S_1 a S_2
 - (d) na jeden píst jsem dal závaží a na druhý jsem tlačil čidlem a měřil jsem sílu F_1 , kterou musím působit na píst, aby se druhý posunul do nejvyšší možné polohy
 - (e) naměřené hodnoty jsem si zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 7)
 - (f) vypočítal jsem sílu, která působí na píst se závažím, pomocí vzorce $F_2 = \frac{F_1 S_2}{S_1}$



- 1 - sklenice s vodou
- 2 - puk
- 3 - hydraulický lis

Obrázek 17: Hydraulický lis - měření

7.3 Výsledky měření

Z hodnot, které jsem získal, jsem došel k závěru, že hydraulický lis je velice praktické zařízení. Zmenšuje velikost síly, potřebné ke zvedání věcí nebo naopak drcení.

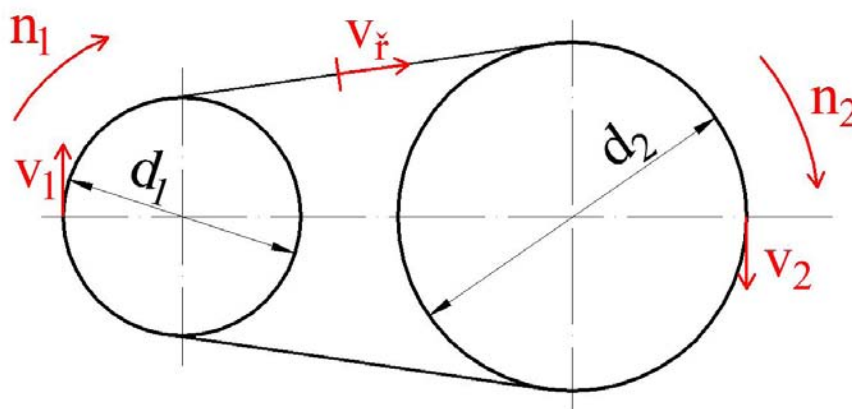
Závaží	Bez zatížení	Puk	Sklenice s vodou
Obsah malého pístu $[S_1] = \text{mm}^2$	6,91	6,91	6,91
Obsah velkého pístu $[S_2] = \text{mm}^2$	10,60	10,60	10,60
Síla působící na malý píst $[F_1] = \text{N}$	33,30	35,00	36,20
Síla působící na velký píst $[F_2] = \text{N}$	51,09	53,69	55,53

Tabulka 7: Hydraulický lis

8 Experiment 6 - Převod

8.1 Teorie

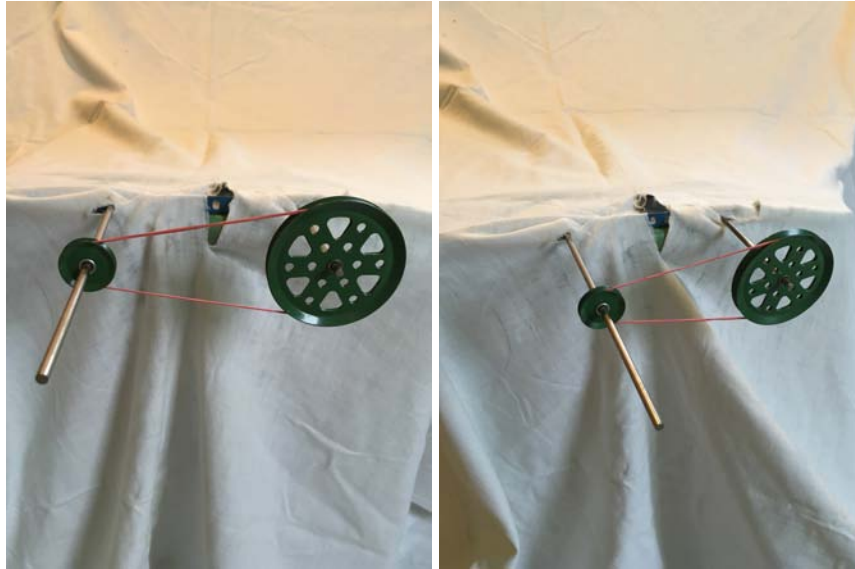
Převod (obr. 18) je mechanismus, který *rozvádí* kroutící moment z hnacího hřídele na hnaný hřídel. Při tomto je splněn požadavek *rozdílného počtu* otáček n_1, n_2 obou hřídelů. Jednoduchý převod je vždy složen ze dvou koleček, která jsou navzájem spojena řemenem nebo řetězem.



Obrázek 18: Jednoduchý převod s řemenem

8.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor rotačního pohybu (S_3 , příloha 1)
2. Pomůcky: stavebnice Merkur
3. Vztahy: $n_1 = \frac{\omega}{\pi d_1}$, $n_2 = \frac{d_1 n_1}{d_2}$
4. Postup:
 - (a) pomocí stavebnice Merkur jsem si sestavil jednoduchý převod
 - (b) senzor rotačního pohybu jsem připojil do rozhraní a nastavil jsem Pasco Capstone
 - (c) pomocí pravítka jsem změřil d_1 a d_2
 - (d) senzorem rotačního pohybu jsem změřil úhlovou rychlost hnacího kola ω
 - (e) naměřené hodnoty jsem si zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 8)
 - (f) vzorcem $n_1 = \frac{\omega}{\pi d_1}$ jsem vypočítal otáčky hnacího kola a pomocí vzorce $n_2 = \frac{d_1 n_1}{d_2}$ jsem vypočítal otáčky hnaného kola



Obrázek 19: Jednoduchý převod - měření

8.3 Výsledek měření

Cílem experimentu bylo dokázat, že se otáčky u převodu liší. Z naměřených hodnot je vidět, že rozdílného počtu otáček bylo dosaženo.

Převod	1. převod	2. převod	3. převod
Úhlová rychlost $[\omega] = \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	23,28	27,76	35,11
Frekvence otáčení hnacího kola $[n_1] = \text{s}^{-1}$	0,27	0,23	0,18
Průměr hnacího kola $[d_1] = \text{mm}$	32,00	22,00	22,00
Průměr hnaného kola $[d_2] = \text{mm}$	60,00	60,00	32,00
Frekvence otáčení hnaného kola $[n_2] = \text{s}^{-1}$	0,14	0,08	0,12

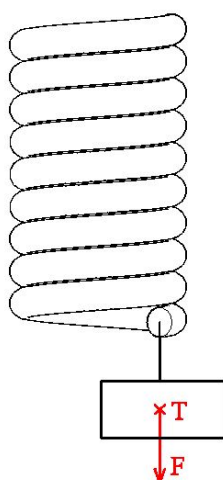
Tabulka 8: Převod

9 Experiment 7 - Tuhost pružiny

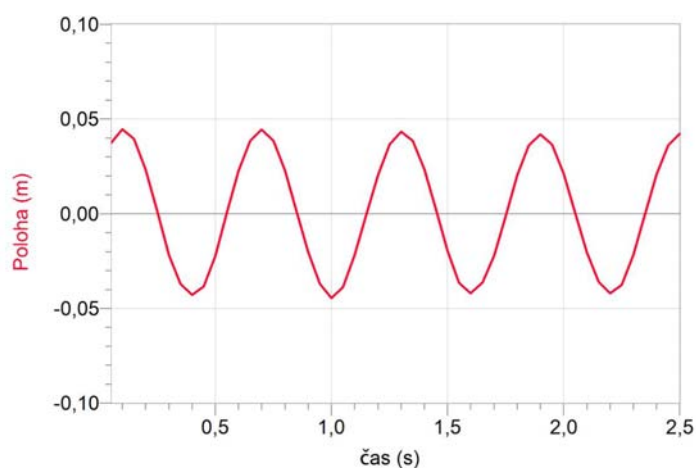
9.1 Teorie

Tuhost k pružiny je fyzikální veličina, která je charakteristická pro každé *stlačitelné* těleso. Na rozdíl od modulu pružnosti se týká celého tělesa, nikoliv jen materiálu, jímž je tvořeno. Tuhost pružiny se může určovat pomocí *oscilátoru*. Oscilátor (obr. 20) je zařízení, schopné *kmitavého* pohybu, při němž se hodnoty určitých parametrů *periodicky* opakují.

U harmonického oscilátoru je průběh kmitu v závislosti na čase charakterizován *sinusoidou*⁸.



Obrázek 20: Mechanický oscilátor



Obrázek 21: Sinusoida

⁸<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/182-kmitani-zpusobene-silou-pruznosti> [cit.2016-02-22]

9.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor síly (S_1 , příloha 1), senzor pohybu (S_2 , příloha 1)
2. Pomůcky: tři různé pružiny z hlediska počtu závitů, závaží
3. Vztahy: $k = \frac{F}{\Delta l}$
4. Postup:
 - (a) pružiny jsem si připevnil do svislé polohy a zavěsil jsem na ně závaží
 - (b) senzor síly a pohybu jsem připojil do rozhraní a nastavil jsem software PASCO Capstone
 - (c) senzorem síly jsem naměřil tíhovou sílu F působící na závaží, které jsem používal k zatížení pružiny a závaží jsem na pružině rozkmital a měřil jsem výchylku Δl pomocí senzoru pohybu
 - (d) naměřené hodnoty jsem si zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 9)
 - (e) tuhost pružiny jsem vypočítal pomocí vzorce $k = \frac{F}{\Delta l}$



Obrázek 22: Tuhost pružiny - měření

9.3 Výsledky měření

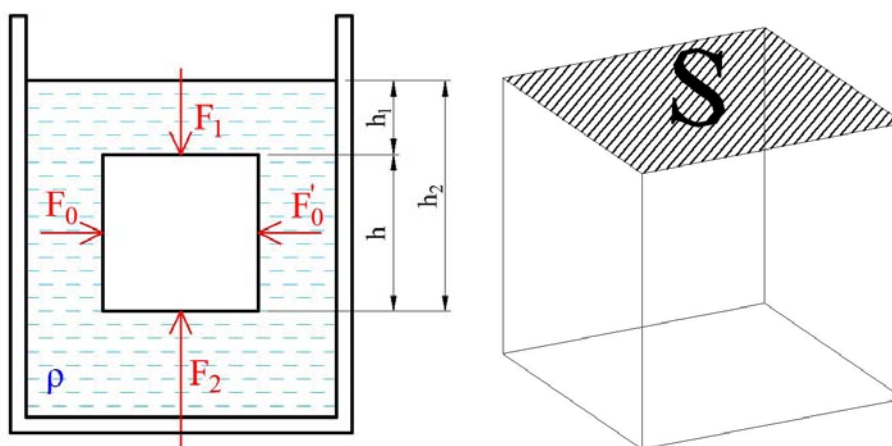
Pružina	1.pružina	2.pružina	3.pružina
Síla [F] = N	0,80	0,80	1,00
Výchylka [Δl] = cm	10,00	13,00	8,00
Tuhost pružiny [k] = $N \cdot m^{-1}$	8,00	6,15	12,50

Tabulka 9: Tuhost pružiny

10 Experiment 8 - Vztlková síla

10.1 Teorie

Vztlková síla F_{vz} je taková síla, která *nadlehčuje* těleso, které je v kapalině *ponořené*. Má opačný směr než tíhová síla G . Vztlková síla F_{vz} vzniká jako výslednice *hydrostatických* sil působících na povrch tělesa v kapalině v klidovém stavu. Těleso tvaru kvádrů s podstavou o obsahu S a výšce h , které je zcela ponořené v kapalině o hustotě ρ . Podstavy kvádrů jsou *rovnoběžné* s vodorovným povrchem kapaliny. Na všechny stěny kvádrů působí kapalina hydrostatickými tlakovými silami. Tlakové síly F_0 a F'_0 působící na boční stěny jsou stejně *velké* a *opačného* směru, proto se navzájem ruší. Na horní podstavu v hloubce h_1 působí tlaková síla F_1 o velikosti $F_1 = \rho Sh_1 g$, na dolní podstavu v hloubce h_2 tlaková síla F_2 o velikosti $F_2 = \rho Sh_2 g$. Výslednicí sil F_1 a F_2 je vztlková síla F_{vz} o velikosti $F_{vz} = \rho Shg = \rho Vg$ ⁹.



Obrázek 23: Vztlková síla

10.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor síly ($S - 1$, příloha 1)
2. Pomůcky: nádoba s vodou, různá tělesa
3. Vztahy: $F_{vz} = \rho Shg = \rho Vg$
4. Postup:

⁹BEDNAŘÍK, Milan a Miroslava ŠIROKÁ. *Fyzika pro gymnázia*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 2007. ISBN 978-80-7196-176-5

- (a) senzor síly jsem připojil do rozhraní a nastavil jsem software PASCO Capstone
- (b) změřil jsem si tíhovou sílu G_i jednotlivých těles a poté jsem je začal potápět do nádoby a zjišťoval jsem vztlakovou sílu F_{vz}
- (c) naměřené hodnoty jsem si zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 10)



Obrázek 24: Vztlaková síla - měření

10.3 Výsledky měření

Těleso	1. těleso	2. těleso	3. těleso	4. těleso
Plocha [S] = cm ²	18,10	9,62	0,79	73,90
Tíhová síla [G] = N	1,1	0,4	0,5	1,3
Vztlaková síla [F _{vz}] = N	1,0	0,4	0,1	1,3
Síla po ponoření [G - F _{vz}] = N	0,1	0,0	0,4	0,0

Tabulka 10: Vztlaková síla

$G - F_{vz} > 0$ těleso se potápí

$G - F_{vz} \leq 0$ těleso plove.

11 Experiment 9 - Potenciální energie

11.1 Teorie

Potenciální energii E_p mají tělesa, která jsou v silových *polích* jiných těles, mají ji také pružně *deformovaná* tělesa ¹⁰. V tíhovém poli Země se jedná o tíhovou potenciální energii a jsou-li pružně deformovaná nazývá se potenciální energie pružnosti. Pro výpočet potenciální energie se používá vzorec $E_p = mgh$ ¹¹.

11.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor síly (S_1 , příloha 1), senzor pohybu (S_2 , příloha 1)
2. Pomůcky: sada závaží, stavebnice Merkur
3. Vztahy: $E_p = mgh$
4. Postup:
 - (a) senzor síly a pohybu jsem připojil do rozhraní a nastavil jsem si software PASCO Capstone
 - (b) ze stavebnice Merkur jsem si postavil jednoduchou konstrukci, která zajišťovala, aby závaží nespadlo až na zem
 - (c) za pomoci senzoru síly jsem si změřil tíhovou sílu G závaží
 - (d) senzorem pohybu jsem si změřil výšku h , ze které jsem těleso pouštěl
 - (e) naměřené hodnoty jsem si zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 11)
 - (f) k výpočtu potenciální energie jsem použil vzorec $E_p = Gh$

¹⁰BEDNAŘÍK, Milan a Miroslava ŠIROKÁ. *Fyzika pro gymnázia*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 2007. ISBN 978-80-7196-176-5

¹¹<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/48-potencialni-energie> [cit.2016-2-25]



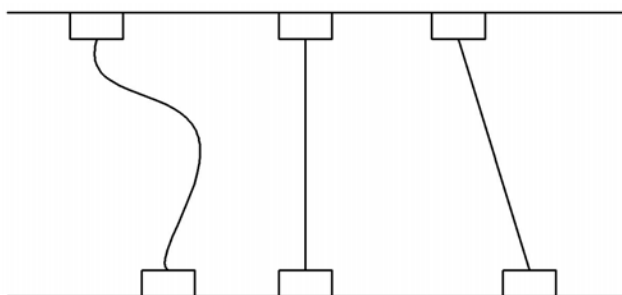
Obrázek 25: Potenciální energie - konstrukce

11.3 Výsledky měření

Z naměřených hodnot je jasné, že s vyšší počáteční výškou se potenciální energie zvyšuje. Potenciální energie nezáleží na tvaru trajektorie po které se těleso posouvá, nýbrž pouze na rozdílu mezi počáteční a koncovou výškou.

Těleso	Tíhová síla [G] = N	Výška [h] = m	Potenciální energie [E _p] = J
1.těleso	0,5	0,0730	0,0365
2.těleso	1	0,0729	0,0729
3.těleso	2	0,0750	0,15

Tabulka 11: Potenciální energie

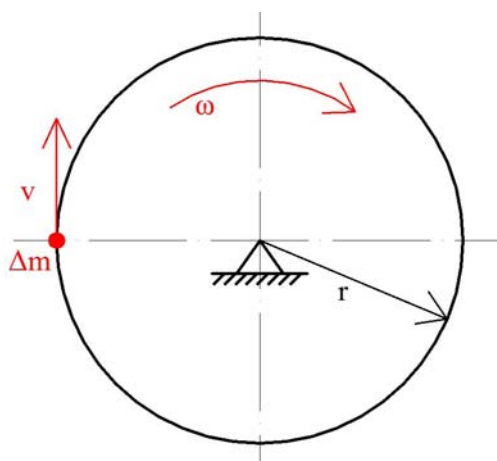


Obrázek 26: Potenciální energie - dráhy

12 Experiment 10 - Moment setrvačnosti

12.1 Teorie

Moment setrvačnosti I je fyzikální veličina, která vyjadřuje *rozložení* látky vzhledem k ose otáčení. Moment setrvačnosti tělesa vzhledem k ose otáčení je definován vztahem $I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_i r_i^2 + \dots + m_n r_n^2$. Kde m_i jsou hmotnosti jednotlivých bodů a r_i jsou vzdálenosti bodů od osy otáčení. Pomocí momentu setrvačnosti I můžeme vyjádřit *kinetickou energii* otáčejícího se tělesa $E_r = \frac{1}{2} I \omega^2$ ¹² (obr. 27).



Obrázek 27: Moment setrvačnosti schéma

12.2 Postup měření

1. Použitá čidla: senzor pohybu (S_2 , příloha 1)
2. Pomůcky: různé druhy válečků, nakloněná rovina
3. Postup:
 - (a) senzor pohybu jsem připojil do rozhraní a nastavil jsem software PASCO Capstone
 - (b) senzorem pohybu jsem změřil konečné rychlosti válečků na nakloněné rovině
 - (c) naměřené hodnoty jsem si zapsal do tabulky pomocí Excel 2007 (tab. 12)

¹²BEDNAŘÍK, Milan a Miroslava ŠIROKÁ. *Fyzika pro gymnázia*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 2007. ISBN 978-80-7196-176-5



Obrázek 28: Nakloněná rovina



Obrázek 29: Různé druhy válečků

12.3 Výsledky měření

Odvození rychlosti na konci pohybu pro dutý válec:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

$$gh = \frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{2}r^2\omega^2$$

$$v = r\omega$$

$$v^2 = gh$$

$$v = \sqrt{gh}$$

Odvození zrychlení pohybu pro dutý válec:

$$a = \frac{mgr^2 \sin\alpha}{mr^2 + I}$$

$$a = \frac{mgr^2 \sin\alpha}{mr^2 + mr^2}$$

$$a = \frac{1}{2}g \sin\alpha$$

Odvození rychlosti na konci pohybu pro plný válec:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

$$gh = \frac{1}{2}v^2 + \frac{1}{4}r^2\omega^2$$

$$v = r\omega$$

$$\frac{3}{4}v^2 = gh$$

$$v = \sqrt{\frac{4}{3}gh}$$

Odvození zrychlení pohybu pro plný válec:

$$a = \frac{mgr^2 \sin\alpha}{mr^2 + I}$$

$$a = \frac{mgr^2 \sin\alpha}{mr^2 + \frac{1}{2}mr^2}$$

$$a = \frac{2}{3}g \sin\alpha$$

Vztahy pro výpočet v a a se liší pro jednotlivá tělesa podle momentu setrvačnosti. Nejrychlejší je plný váleček, protože má poloviční moment setrvačnosti než váleček dutý. Rychlost, ani zrychlení nezávisí na hmotnosti, ani dělce, či průměru válečků.

Váleček	Poloměr [r] = cm	Rychlost [v] = m/s
Plný kovový	0,50	5,08
Dutý plastový	2	4,5
Plný plastový	0,8	5,1

Tabulka 12: Moment setrvačnosti

13 Závěr

Výsledkem projektu Výuka mechaniky se systémem PASCO je deset naměřených experimentů a deset vytvořených vzorových pracovních listů. Práce zachycuje více částí fyziky od základních sil až po dynamiku. Tento projekt se snaží o zatraktivnění experimentů pro studenty, kteří by pracovali se systémem PASCO v laboratorních pracích z fyziky nebo na hodinách mechaniky, kde by využili připravené protokoly. Během dělení práce jsem se musel naučit obsluhovat software PASCO Capstone. Veškerá obrázková dokumentace byla vyfocena nebo vytvořena v aplikaci Autodesk CAD.

Seznam použitých značek a symbolů

l – délka, [mm] = milimetr

n – frekvence otáčení, [s^{-1}] = otáčky za sekundu

I – kvadratický moment průřezu, [mm^4] = milimetr na čtvrtou

E – modul pružnosti materiálu v tahu, [MPa] = megapascal

S – obsah, [mm^2] = milimetr čtvereční

E_p – potenciální energie, [J] = joule

r – poloměr, [mm] = milimetr

y – průhyb, [mm] = milimetr

d – průměr, [mm] = milimetr

v – rychlost, [ms^{-1}] = metr za sekundu

F – síla, [N] = newton

f – součinitel smykového tření, [1] = bez jednotek

G – tíhová síla, [N] = newton

k – tuhost pružiny, [Nm^{-1}] = newton na metr

ω – úhlová rychlost, [$rads_{-1}$] = milimetr

Δl – výchylka, [cm] = centimetr

h – výška, [m] = metr

F_{vz} – vztlaková síla, [N] = newton

Seznam použité literatury a zdrojů informací

Seznam použité literatury

- [1] ŠÁMAL, Oldřich. *Mechanika: sbírka řešených úloh*. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-016-7.
- [2] BEDNAŘÍK, Milan a Miroslava ŠIROKÁ. *Fyzika pro gymnázia*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 2007. ISBN 978-80-7196-176-5.
- [3] OTTO, Jan. *Ottův slovník naučný: illustrovaná encyklopaedie obecných vědomostí*. Praha: J. Otto, 1902.

Seznam použitých internetových zdrojů

- [1] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/36-smykove-treni> [cit.2015-12-06]
- [2] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/93-paka-jednozvratna> [cit.2016-02-22]
- [3] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/94-paka-dvojzvratna> [cit.2016-02-22]
- [4] <http://www.animfyzika.wz.cz/kladkostroj.html> [cit.2015-12-06]
- [5] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/114-hydraulicka-a-pneumaticka-zarizeni> [cit.2015-12-06]
- [6] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/182-kmitani-zpusobene-silou-pruznosti> [cit.2016-02-22]
- [7] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/48-potencialni-energie> [cit.2016-2-25]

Seznam použitého softwaru

1. Microsoft Excel 2007
2. Autodesk Inventor 2016
3. Autodesk CAD 2014
4. PASCO Capstone
5. T_EXmaker, MiK_TE_X
6. Windows Výstřižky

Seznam příloh

Příloha 1: Pasco senzory

Příloha 2: Pracovní list - smykové tření

Příloha 3: Pracovní list - páka

Příloha 4: Pracovní list - kladkostroj

Příloha 5: Pracovní list - modul pružnosti materiálu v tahu

Příloha 6: Pracovní list - hydraulický lis

Příloha 7: Pracovní list - převod

Příloha 8: Pracovní list - tuhost pružiny

Příloha 9: Pracovní list - vztlaková síla

Příloha 10: Pracovní list - potenciální energie

Příloha 11: Pracovní list - moment setrvačnosti

Příloha 1



Obrázek 30: S_1 - senzor síly



Obrázek 31: S_2 - senzor pohybu



Obrázek 32: S_3 - senzor rotačního pohybu



Obrázek 33: Pasco rozhraní

Příloha 2

Pracovní list - smykové tření

1. Použitá čidla: senzor síly, senzor pohybu
2. Pomůcky a materiál: dřevěná deska, dřevěný kvádr, kus plechu, papírová kniha, gumový puk, plastová deska, smirkový papír
3. Vztahy: součinitel smykového tření $f = \frac{F_t}{G}$
4. Postup:
 - (a) čidla připojte k rozhraní a nastavte si software PASCO Capstone
 - (b) pomocí senzoru síly změřte tíhu G těleso
 - (c) po deskách z různých materiálů táhněte tělesa z různých materiálů
 - (d) pomocí čidla pro měření velikosti síly změřte sílu F_p , kterou musíte působit, abyste překonali třecí sílu
 - (e) vypočítejte součinitel smykového tření pomocí vzorce $f = \frac{F_t}{G}$

Použité materiály	Tíhová síla [G] = N	Rychlost [v] = m/s	Síla [F] = N	Součinitel smykového tření [f] = 1
dřevo na dřevě				
plech na dřevě				
papír na dřevě				
guma na dřevě				
guma na plastu				
dřevo na plastu				
plech na plastu				
papír na plastu				
dřevo na smirkovém papíře				
plech na smirkovém papíře				
papír na smirkovém papíře				
guma na smirkovém papíře				

Kontrolní otázky

- Jak velká bude třecí síla F_t , jestliže hmotnost taženého tělesa je $m = 150$ g a součinitel smykového tření $f = 0,6$?
- Je třecí síla F_t závislá na velikosti styčných ploch tělesa?
- Co se stane, když bude mít táhnoucí síla a síla třecí stejnou velikost?

Příloha 3

Pracovní list - páka

1. Použitá čidla: senzor síly
2. Pomůcky: stavebnice Merkur, závaží
3. Vztahy: $G = \frac{Fl_2}{l_1}$
4. Postup:
 - (a) ze stavebnice Merkur postavte dvouzvratnou páku
 - (b) čidlo na sílu si zapojte do rozhraní a nastavte program PASCO Capstone
 - (c) pomocí tohoto čidla změřte sílu F , kterou musíte působit na zvednutí tělesa, které jste zavěsili na opačnou stranu páky než je čidlo
 - (d) pro provedení dalšího měření změňte délky ramen l_1 a l_2
 - (e) vypočítejte tíhu břemene pomocí vzorce $G = \frac{Fl_2}{l_1}$

Páka	1. pokus	2. pokus
Délka ramene [l_1] = mm		
Délka ramene [l_2] = mm		
Tíhová síla [G] = N		
Síla [F] = N		

Kontrolní otázky

- Jak velká bude hmotnost břemene, známe-li sílu, kterou břemeno zvedáme pomocí dvouzvratné páky $F_2 = 2000$ N, dále známe délku ramene, na kterém je těleso zavěšené $l_1 = 2,5$ m a délku ramene, kde působíme silou $l_2 = 1$ m?
- Jak velkou budeme muset vyvinout sílu abychom zvedli břemeno o tíhové síle $G = 10$ N, pokud jsou ramena páky stejně dlouhá?
- Kde se dnes využívá páka?

Příloha 4

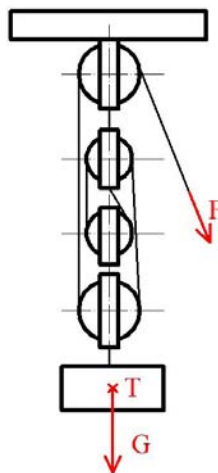
Pracovní list - kladkostroj

1. Použitá čidla: senzor síly
2. Pomůcky: stavebnice Merkur, závaží
3. Vztahy: $G = 2F$
4. Postup:
 - (a) ze stavebnice Merkur si postavte jednoduchý kladkostroj
 - (b) senzor síly připojte k rozhraní a nastavte software PASCO Capstone
 - (c) senzorem síly změřte sílu F , kterou musíte vykonat abyste zvedli závaží, které jste připevnili provázkem přes kladkostroj k senzoru
 - (d) vypočítejte tíhovou sílu závaží pomocí vzorce $G = 2F$

Břemeno	1. břemeno	2. břemeno
Tíha břemene [G] = N		
Naměřená tíha břemene [G] = N		
Síla táhnutí [F] = N		

Kontrolní otázky

- Jak velkou budeme muset vyvinout sílu F , abych zvedl těleso o hmotnosti $m = 100$ kg. Kladkostroj má čtyři kladky?



- Víte, kdo vynalezl kladkostroj?
- Uveďte příklady, kde se v současnosti používá kladkostroj?

Příloha 5

Pracovní list - modul pružnosti materiálu v tahu

1. Použitá čidla: senzor síly, senzor pohybu
2. Pomůcky: špejle, lepicí páska
3. Vztahy: $E = \frac{Fl^3}{48Iy}$, $E = \frac{Fl^3}{3Iy}$, $E = \frac{5Fl^3}{48Iy}$
4. Postup:
 - (a) špejle si přilepte do různých pozic
 - (b) senzor síly a pohybu připojte do rozhraní a nastavte PASCO Capstone
 - (c) špejle začněte zatěžovat a průhyby změřte pomocí senzoru pohybu a síly působící na špejle F změřte pomocí senzoru síly
 - (d) Vypočítejte modul pružnosti v tahu pomocí vzorce $E = \frac{Fl^3}{48Iy}$,
 $E = \frac{Fl^3}{3Iy}$, $E = \frac{5Fl^3}{48Iy}$, když $I = \frac{\pi}{64} \cdot d^4$

Typ nosníku	1. špejle - prostě podepřený	2. špejle - vetknutý zatížený na konci	3. špejle - vetknutý zatížený uprostřed
Průměr [d] = mm			
Průhyb [y] = mm			
Síla [F] = N			
Délka [l] = mm			
Kvadratický moment průřezu [I] = mm ⁴			
Modul pružnosti materiálu v tahu [E] = MPa			

Kontrolní otázky

- Víte, jak vypadá graf Yongova modulu?
- Víte, jak se provádí zkouška pro určení modulu pružnosti materiálu v tahu?
- Jak se nazývá veličina označená ε ?

Příloha 6

Pracovní list - hydraulický lis

1. Použitá čidla: senzor síly
2. Pomůcky: dvě injekční stříkačky různého průměru píst, hadička, sada závaží, voda
3. Vztahy: $F_2 = \frac{F_1 S_2}{S_1}$
4. Postup:
 - (a) z injekčních stříkaček a trubičky vyrobte jednoduchý hydraulický lis
 - (b) čidlo pro měření velikosti síly připojte do rozhraní a nastavte PASCO Capstone
 - (c) pomocí pravítka změřte obsahy pístů S_1 a S_2
 - (d) na jeden píst dejte závaží a na druhý tlačte čidlem a změřte sílu F_1 , kterou musíte působit na píst, aby se druhý posunul do nejvyšší možné polohy
 - (e) vypočítejte sílu, která působí na píst se závažím, pomocí vzorce $F_2 = \frac{F_1 S_2}{S_1}$

Závaží	Bez zatížení	Puk	Sklenice s vodou
Obsah malého pístu [S_1] = mm ²			
Obsah velkého pístu [S_2] = mm ²			
Síla působící na malý píst [F_1] = N			
Síla působící na velký píst [F_2] = N			

Kontrolní otázky

- Jak velká síla F_2 bude působit na píst S_2 , víme-li velikost půdorysné plochy pístu $S_2 = 10 \text{ cm}^2$ a pístu $S_1 = 3 \text{ cm}^2$ a síla $F_1 = 90 \text{ N}$?
- Uveďte příklady použití hydraulického lisu?
- Jaké jsou vlastnosti kapalin?

Příloha 7

Pracovní list - převod

1. Použitá čidla: senzor rotačního pohybu
2. Pomůcky: stavebnice Merkur
3. Vztahy: $n_1 = \frac{\omega}{\pi d_1}$, $n_2 = \frac{d_1 n_1}{d_2}$
4. Postup:
 - (a) pomocí stavebnice Merkur si sestavte jednoduchý převod
 - (b) senzor rotačního pohybu připojte do rozhraní a nastavte PASCO Capstone
 - (c) pomocí pravítka změřte d_1 a d_2
 - (d) senzorem rotačního pohybu změřte úhlovou rychlost hnacího kola
 - (e) vzorcem $n_1 = \frac{\omega}{\pi d_1}$ vypočítejte otáčky hnacího kola a pomocí vzorce $n_2 = \frac{d_1 n_1}{d_2}$ vypočítejte otáčky hnaného kola

Převod	1. převod	2. převod	3. převod
Úhlová rychlost $[\omega] = \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$			
Frekvence otáčení hnacího kola $[n_1] = \text{s}^{-1}$			
Průměr hnacího kola $[d_1] = \text{mm}$			
Průměr hnaného kola $[d_2] = \text{mm}$			
Frekvence otáčení hnaného kola $[n_2] = \text{s}^{-1}$			

Kontrolní otázky

- Hnací řemenice má průměr $d_1 = 200 \text{ mm}$, otáčky jsou $n_1 = 12,4 \text{ s}^{-1}$. Otáčky hnané řemenice je potřeba snížit na $n_2 = 4,7 \text{ s}^{-1}$. Jaký průměr bude mít hnaná řemenice?
- Uveďte příklad, kde se používá převod?

Příloha 8

Pracovní list - tuhost pružiny

1. Použitá čidla: senzor síly, senzor pohybu
2. Pomůcky: Tři pružiny, závaží
3. Vztahy: $k = \frac{F}{\Delta l}$
4. Postup:
 - (a) pružiny si připevněte do svislé polohy a zavěste na ně závaží
 - (b) senzor síly a pohybu připojte do rozhraní a nastavte software PASCO Capstone
 - (c) senzorem síly změřte tíhovou sílu F závaží, které používáte k zatížení pružiny a závaží na pružině rozkmitajte a měřte výchylku
 - (d) tuhost pružiny vypočítejte pomocí vzorce $k = \frac{F}{\Delta l}$

Pružina	1.pružina	2.pružina	3.pružina
Síla [F] = N			
Výchylka [Δl] = cm			
Tuhost pružiny [k] = N·m ⁻¹			

Kontrolní otázky

- Jakou tuhost bude mít pružina pokud víme, že $\Delta l = 20$ cm a síla $F = 4$ N?
- Uveďte příklad, kde se používá pružina?

Příloha 9

Pracovní list - vztlaková síla

1. Použitá čidla: senzor síly
2. Pomůcky: nádoba s vodou, různá tělesa
3. Vztahy: $F_{vz} = \rho S h g = \rho V g$
4. Postup:
 - (a) senzor síly připojte do rozhraní a nastavte software PASCO Capstone
 - (b) změřte tíhovou sílu jednotlivých těles a poté je začněte potápět do nádoby
 - (c) změřte sílu po ponoření tělesa a odečtěte ji od tíhové síly a vyjde vám velikost vztlakové síly

Těleso	1. těleso	2. těleso	3. těleso	4. těleso
Plocha [S] = cm ²				
Tíhová síla [G] = N				
Vztlaková síla [F _{vz}] = N				
Síla po ponoření [G - F _{vz}] = N				

Kontrolní otázky

- Do vody ponoříme závaží $m = 100$ g které je z mosazi. Jak velká na něj působí vztlaková síla?
- Uveďte příklad, kde se využívá princip vztlakové síly?

Příloha 10

Pracovní list - potenciální energie

1. Použitá čidla: senzor síly, senzor pohybu
2. Pomůcky: sada závaží
3. Vztahy: $E_p = mgh$
4. Postup:
 - (a) senzor síly a pohybu připojte do rozhraní a nastavte software PASCO Capstone
 - (b) za pomoci senzoru síly změřte tíhovou sílu závaží
 - (c) senzorem pohybu změřte výšku, ze které těleso pouštíte
 - (d) vypočítejte potenciální energie pomocí vzorce $E_p = Gh$

Těleso	Tíhová síla [G] = N	Výška [h] = m	Potenciální energie [E _p] = J
1.těleso			
2.těleso			
3.těleso			

Kontrolní otázky

- Jak velkou potenciální energii bude mít těleso o hustotě $\rho = 8900 \frac{kg}{m^3}$, které je ve výšce $h = 50$ cm nad povrchem země?
- Záleží na absolvované dráze tělesa?

Příloha 11

Pracovní list - moment setrvačnosti

1. Použitá čidla: senzor pohybu
2. Pomůcky: různé druhy válečků, nakloněná rovina
3. Postup:
 - (a) senzor pohybu připojte do rozhraní a nastavte software PASCO Capstone
 - (b) senzorem pohybu změřte konečné rychlosti válečků na nakloněné rovině

Váleček	Poloměr [r] = cm	Rychlost [v] = m/s
Plný kovový		
Dutý plastový		
Plný plastový		

Kontrolní otázky

- Zkuste odvodit vztah v a a pro kouli?