

»Mladi za napredek Maribora 2013«

30. srečanje

**POENOSTAVLJEN MODEL SKAKANJA Z VRVJO**

Raziskovalno področje: Fizika

Raziskovalna naloga

© 2013

Šolski center Maribor

Šolski center Maribor, februar 2013

Maribor, februar 2013

## KAZALO

<b>1. POVZETEK</b> .....	<b>III</b>
<b>2. ZAHVALA</b> .....	<b>IV</b>
<b>3. UVOD, OPREDELITEV NALOGE IN HIPOTEZE</b> .....	<b>1</b>
<b>4. TEORETIČNI DEL</b> .....	<b>3</b>
<b>4.1. Deformacije teles</b> .....	<b>3</b>
<b>4.2. Delo in energija</b> .....	<b>5</b>
<b>5. EKSPERIMENTALNI DEL</b> .....	<b>10</b>
<b>5.1 Metodologija</b> .....	<b>10</b>
<b>5.2. Elastične vrvice</b> .....	<b>14</b>
<b>5.3. Merjenje raztezkov in dolžine skoka</b> .....	<b>17</b>
<b>5.3.1. Vrvica alfa</b> .....	<b>17</b>
<b>5.3.2. Vrvica beta</b> .....	<b>23</b>
<b>5.3.3. Vrvica gama</b> .....	<b>25</b>
<b>5.3.4. Vrvica delta</b> .....	<b>28</b>
<b>6. UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK</b> .....	<b>31</b>
<b>6.1. Družbena odgovornost</b> .....	<b>32</b>
<b>7. SEZNAM LITERATURE</b> .....	<b>33</b>
<b>KAZALO SLIK</b> .....	<b>34</b>
<b>KAZALO TABEL</b> .....	<b>35</b>

## 1. POVZETEK

V prvem delu raziskovalne naloge smo ugotavljali veljavnost Hookovega zakona pri elastičnih vrveh. Testirali smo štiri različne elastične vrvi. Ugotovili smo, da Hookov zakon velja le za dovolj majhne raztezke. Pri večjih obremenitvah pa so raztezki večji, kot napoveduje Hookov zakon. Zato je možno določiti konstanto elastičnosti za posamezno vrv le za majhne raztezke. Pri majhnih raztezkih smo ugotovili, da je raztezek vrvi sorazmeren dolžini neobremenjene vrvi.

Pri drugem delu naloge smo pri poenostavljenem modelu skakanja z vrvjo ugotavljali vpliv mase skakalca (zamenjala ga je utež) in lastnosti vrvi na dolžino skoka; to je razdalja od odskoka do najnižje lege. Rezultate smo primerjali s teoretičnimi in ugotovili zadovoljivo ujemanje.

## **2. ZAHVALA**

Mentorju se zahvaljujemo za pomoč in nasvete, staremu očetu pa za pomoč pri eksperimentalnem delu. Zahvaljujemo se tudi prijaznemu osebju v Solkanu, ki nas je seznanilo z vsemi podatki pri izvedbi skokov.

### 3. UVOD, OPREDELITEV NALOGE IN HIPOTEZE

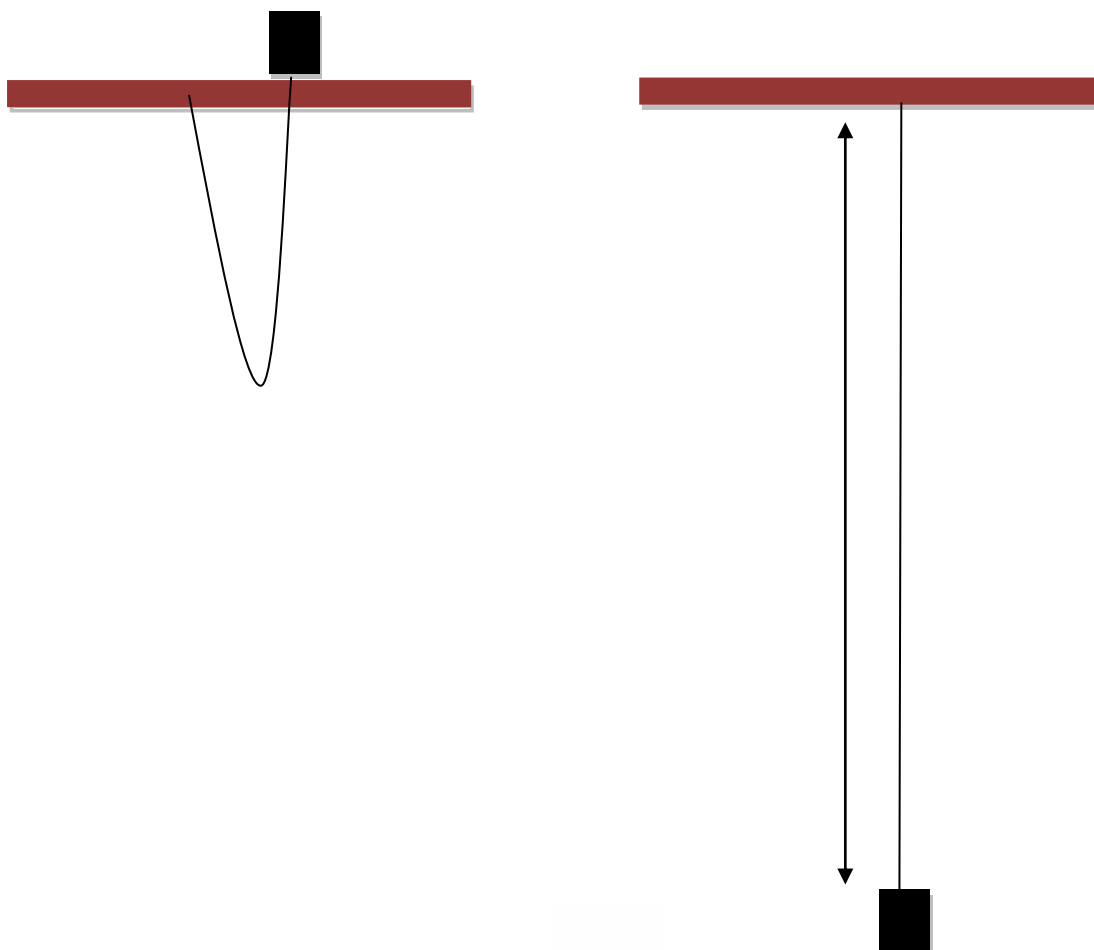
Idejo, da bi naredili poenostavljen model skakanja z elastično vrvjo, smo dobili, ko smo opazovali skakanje z vrvjo (bungee jumping) v Solkanu pri Novi Gorici. Skakalci skačejo z mostu, ki je okoli 55 metrov nad gladino reke Soče. Dolžina skoka (razdalja od mostu do najnižje lege je med 40 do 45 metrov. Izmerili smo, da skok traja okoli 4,3 sekunde. Organizatorji so nam povedali, da na skakalca pritrdijo 10 metrov dolgo elastično vrv, ki jo podaljšajo s 3 do 5 metrov dolgo togo vrvjo. Dolžina togega dela vrvi je odvisna od mase skakalca, ki jo ocenijo. Elastični del vrvi se pri skoku tako podaljša za približno dvakratno dolžino.



Slika 1. Skakanje z vrvjo v Solkanu (lasten arhiv).

Po spletu smo našli cel kup podatkov o skakanju z elastičnimi vrvmi. Pri največjih skakalnicah je skok dolg tudi do 200 metrov. Odločili smo se, da bomo naredili

približno 100 krat manjši model. Skakalec bi bila utež z maso 0,3 do 0,5 kg, dolžina skoka pa približno 1,5 m. Elastična vrv bi bila dolga okoli 50 cm in bi se raztegnila približno na 2,5 kratno dolžino.



Slika 2. Shema meritve (lasten arhiv).

Preverili bomo naslednje hipoteze:

**Hipoteza 1: Hookov zakon velja za celotno območje elastičnosti vrvi.**

**Hipoteza 2: Konstanta elastičnosti vrvi je odvisna od njene dolžine.**

**Hipoteza 3: Dolžina skoka je odvisna od mase uteži in konstante elastičnosti vrvi.**

## 4. TEORETIČNI DEL

### 4.1. Deformacije teles

Zelo pomembna fizikalna količina je sila. Sila na neko telo se pojavi takrat, če na to telo vpliva neko drugo telo. Če porivamo avto, delujejo naše roke na avto z neko silo, če brcnemo žogo, deluje naša noga na žogo z neko silo, itd. Sile so torej posledica »dotika« dveh (ali več) teles. Med izjeme spada gravitacijska sila, ki deluje »na daljavo«. Zemlja na vsa telesa v svoji okolici (kamen, avto, letalo, satelit, itd.) deluje s privlačno silo, ki je odvisna od mase Zemlje in mase telesa. Privlačni gravitacijski sili na neko telo, pravimo tudi teža telesa.

Če se pod vplivom sile telo giblje, je gibanje telesa pospešeno. Zvezo med silo in pospeškom opisuje naslednja enačba:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a},$$

ki se imenuje drugi Newtonov zakon.  $\mathbf{F}$  je sila,  $m$  je masa telesa in  $\mathbf{a}$  je pospešek. Iz te enačbe izhaja enota za silo, ki je enaka produktu enot za maso in pospešek. Ta enota se označi s črko N in se imenuje newton:

$$N = \frac{kg\ m}{s^2}.$$

Če torej na telo deluje samo gravitacijska sila (privlačna sila Zemlje), potem skladno z drugim Newtonovim zakonom telo pada proti površju Zemlje pospešeno. Ker je gravitacijska sila odvisna tudi od mase telesa, je pospešek prostega pada neodvisen od mase telesa; vsa telesa padajo z istim pospeškom. To bi natančno veljalo le, če nad površjem Zemlje ne bi bilo zraka. Zrak pa zmoti padanje telesa, zato je padanje telesa odvisno od lastnosti telesa (teže, oblike, ...).

Pospešek pri prostem padu je odvisen od mase in polmera planeta. Ker je planet Zemlja nekoliko sploščen, je na polu pospešek nekoliko večji kot na ekvatorju. V naših krajih je

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2},$$

kjer je  $g$  pospešek pri prostem padu.

Skladno z drugim Newtonovim zakonom, je privlačna gravitacijska sila, s katero Zemlja privlači telesa in ji rečemo teža enaka

$$F_g = mg,$$

kjer je  $F_g$  teža telesa.

Sila, ki deluje na telo, lahko povzroči, da se telo deformira. Na primer: žico prepognemo, pločevino zvijemo, elastiko raztegnemo, itd. Deformacije, ki na tak način nastanejo, v grobem razdelimo na dve skupini:

- **elastične** (tudi prožne) deformacije,
- **plastične** deformacije.

**Elastične** deformacije so takšne, ki po prenehanju delovanja sile izginejo. Na primer: elastično vrv nekoliko raztegnemo in nato popustimo, kovinsko ploščo nekoliko upognemo, itd. Elastična deformacija telesa je odvisna od snovi, iz katere je telo, sila, ki deluje na telo, pa mora biti dovolj majhna.

**Plastične** deformacije so takšne, ki trajno ostanejo. Na primer: palico prelomimo, žico zvijemo, itd. Dovolj velike sile povzročijo plastične deformacije.

Pri elastičnih deformacijah, ki so dovolj majhne, je zveza med silo in deformacijo enostavna in se po Robertu Hooku imenuje Hookov zakon. Ta zakon pravi, da sta sila in deformacija v linearni povezavi. Za raztezanje elastičnih vrvi Hookov zakon zapišemo:

$$F = kx$$

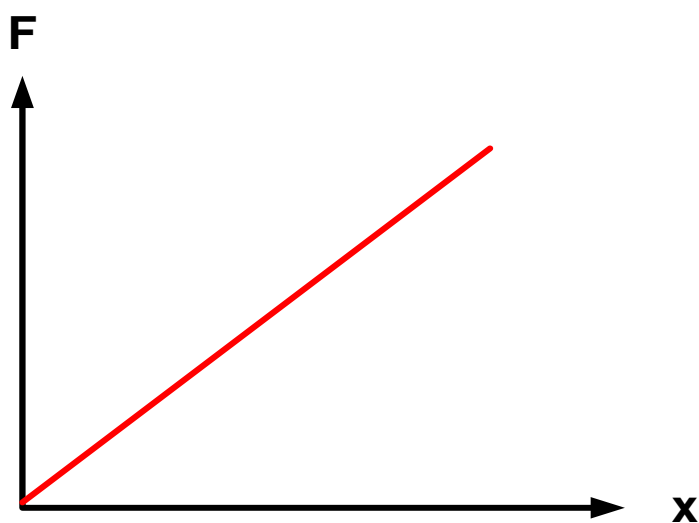


Slika 3. Raztezanje elastične vrvi (lasten arhiv).



$F$  je sila, ki nateza vrv prvotne dolžine  $l$ ,  $x$  pa je raztezek (deformacija). Sorazmernostna konstanta  $k$  je značilen podatek za izbrano vrv in je odvisna od materiala in oblike vrvi. Imenuje se **konstanta elastičnosti (tudi konstanta prožnosti)**. Njena enota je  $\frac{N}{m}$ .

Graf Hookovega zakona je premica.



Slika 4. Graf Hookovega zakona (lasten arhiv).

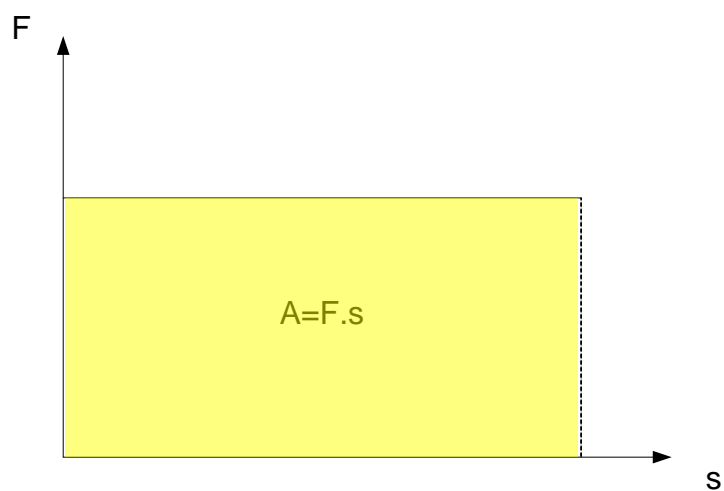
#### 4.2. Delo in energija

Pomembna fizikalna količina je **delo**. Če se pod vplivom sile telo premika, potem sila opravlja delo. Če je sila ves čas konstantna, potem sila opravi delo:

$$A = Fs,$$

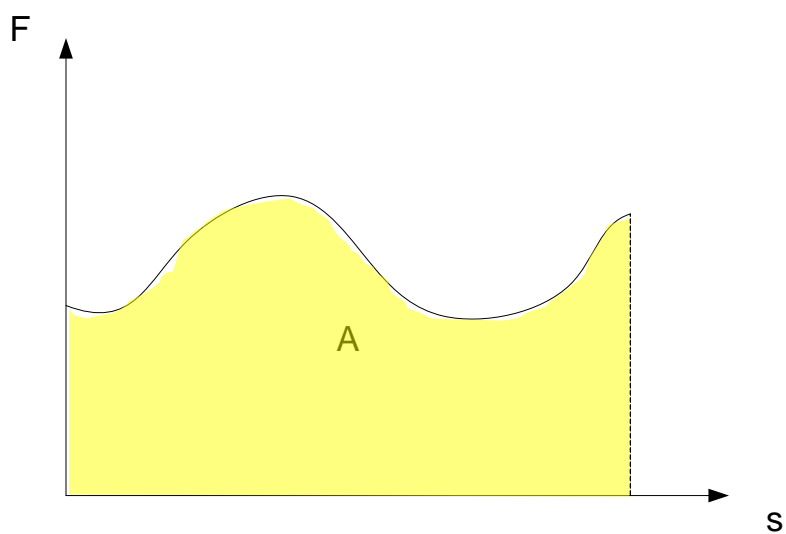
kjer je  $s$  dolžina poti, na kateri je delovala sila. Enota za delo  $A$  izhaja iz zgornje enačbe in se označi s črko  $J$  ter se imenuje joule po Jamesu Joulu;  $J = Nm$ .

V grafu sile in poti je delo enako ploščini lika (pravokotnika) med silo in potjo.



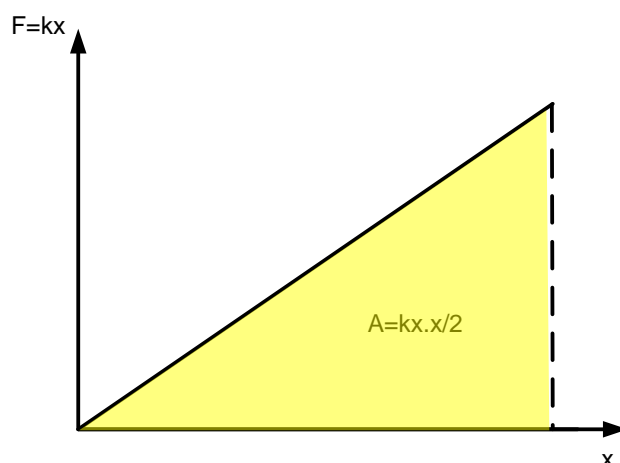
Slika 5. Delo sile, če je sila konstantna (lasten vir).

Če se sila s potjo spreminja, je graf sile in poti neka krivulja, delo pa je enako ploščini lika pod krivuljo.



Slika 6. Delo sile, če se sila spreminja (lasten arhiv).

Za raztezanju elastične vrvi je potrebna sila, ki pri raztezanju opravlja delo. Če velja Hookov zakon, je zveza med silo in potjo (raztezek) linearna in lik, ki predstavlja opravljeno delo, je trikotnik.



Slika 7. Delo elastične sile, če velja Hookov zakon (lasten arhiv).

Delo, ki ga opravi sila pri raztezanju elastične vrvi, če velja Hookov zakon, torej je:

$$A = \frac{kx^2}{2}.$$

Smisel definicije dela se pokaže, ko se vpelje nova fizikalna količina energija.

Opravljen delo se naloži v povečanje energije. V mehaniki se vpeljejo tri vrste energij:

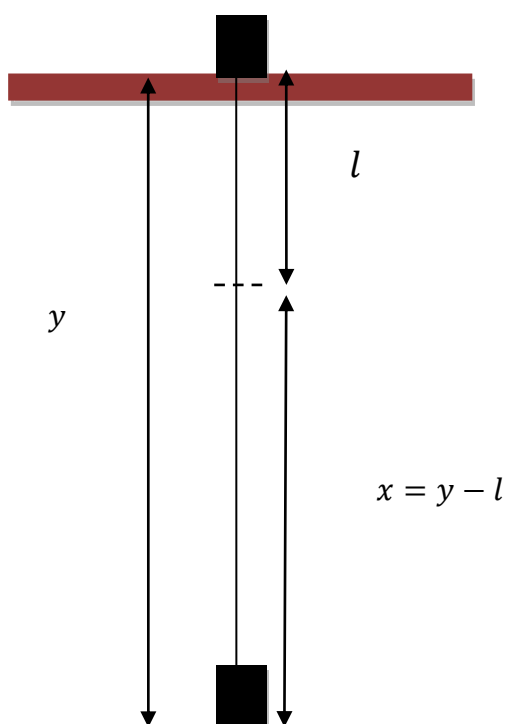
- kinetična energija  $W_k = \frac{mv^2}{2}$ , kjer je  $v$  hitrost telesa,
- potencialna energija  $W_p = mgh$ , kjer je  $h$  višina, na kateri se nahaja telo in se meri od poljubno izbranega nivoja,
- prožnostna energija  $W_{pr} = \frac{kx^2}{2}$  za elastične deformacije, če velja Hookov zakon.

Za energije je značilno, da se lahko spreminjajo iz ene oblike v drugo. Pri padanju telesa se potencialna energija zmanjšuje, povečuje pa se kinetična energija. Poglejmo, kaj je z energijami pri skakanju z vrvjo.

**Ko skakalec odskoči, ima potencialno energijo, ki jo merimo od spodnje lege skakalca. Zaradi padanja se mu potencialna energija zmanjšuje, povečuje se mu**

kinetična energija, saj pada pospešeno. Po nekem času se začne elastična vrv raztezati. Povečuje se prožnostna energija vrvi in zavira padanje skakalca. Hitrost skakalca se zmanjšuje in gibanje je pojemajoče. Čez čas skakalec doseže najnižjo lego, kjer je hitrost enaka nič. Takrat je kinetična energija enaka nič, zaradi raztezka ima vrv največjo prožnostno energijo.

Na začetku:  $W_p = mgy$



Na koncu:  $W_{pr} = \frac{k(y-l)^2}{2}$

Slika 8. Potencialna energija skakalca na začetku je enaka prožnostni energiji vrvi na koncu (lasten arhiv).

Za energije velja, da se skupna energija ohrani, če na telo ne deluje nobena motnja kot je recimo sila upora. Torej velja:

**začetna potencialna energija = končni prožnostni energiji.**

Ker je masa vrvice zanemarljiva proti masi skakalca (uteži), sledi:

$$mgy = \frac{k(y-l)^2}{2},$$

kjer je  $l$  dolžina neraztegnjene vrvi.

Iz enačbe izračunamo dolžino skoka  $y$ :

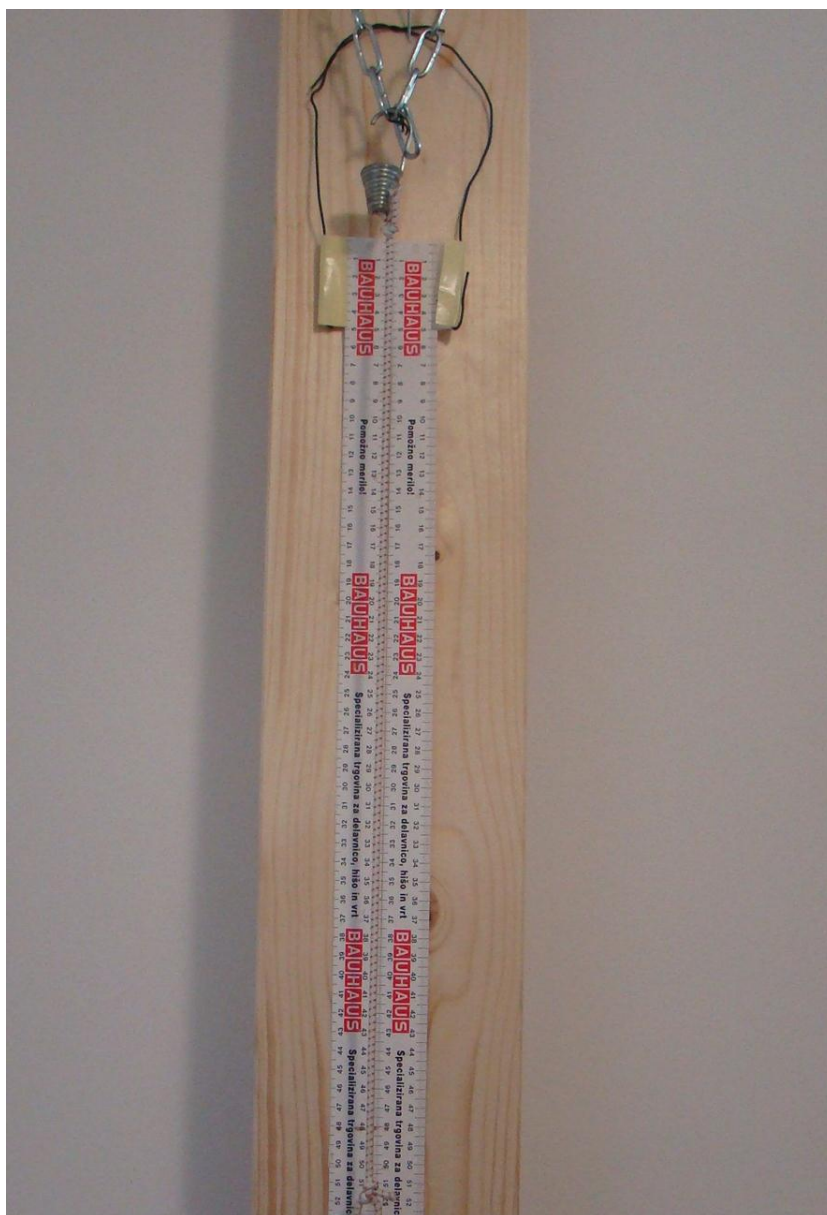
$$y = l + \frac{mg}{k} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2lk}{mg}} \right)$$

Zgornja enačba velja samo, če za celotno območje raztezanja vrvi velja Hookov zakon.

## 5. EKSPERIMENTALNI DEL

### 5.1 Metodologija

Meritve smo izvajali v hodniku stavbe na Koroški cesti v Mariboru. 2,4 m dolgo in 30 cm široko desko smo prislonili k zidu. Na vrhu deske smo z žablji pritrdili lahko verigo, na katero smo obešali elastične vrvi in pritrdili merilni trak.



Slika 9. Deska z merilnim trakom (lasten arhiv).

Raztezke vrvi smo merili tako, da smo na vrvi obešali uteži z znano maso. Uporabljali smo uteži z maso od 20 g do 1 kg.



Slika 10. Uteži, ki smo jih uporabljali (lasten arhiv).

Raztezek (lego uteži) smo odčitali na merilnem traku.



Slika 11. Merjenje raztezka (lasten arhiv).

Pri merjenju dolžine skoka smo utež dvignili do pritrdišča vrvice in spustili. Spodnjo lego uteži smo izmerili tako, da smo s fotoaparatom Canon PowerShot SX220 HS posneli zadnji del padanja uteži in posnetek vstavili v računalnik. Pri počasnem predvajanju smo dovolj natančno izmerili spodnjo lego. Uporabljali smo program Quick Time Player 7.7.2.





Slika 12. Merjenje dolžine skoka, utež v zgornji legi (lasten arhiv).



Slika 13. Merjenje dolžine skoka, utež v spodnji legi v programu Quick Time (lasten arhiv).

Pri vseh računih smo za pospešek prostega pada upoštevali vrednost  $10 \frac{m}{s^2}$ .

## 5.2. Elastične vrvice

Elastične vrvi smo kupili v različnih trgovinah. Vrvem, ki so bile ovite s sintetičnim ovojem, smo ovoj odstranili, ker je vplival na raztezanje vrvi. Odločili smo se za pet različnih vrvi, ki smo jih poimenovali **alfa**, **beta**, **gama** in **delta**.

**Vrvica alfa** se uporablja kot elastika pri kopalkah. Uporabljali smo tri različne dolžine.



Slika 14. Vrvica alfa (lasten arhiv).

**Vrvico beta** smo dobili z odstranitvijo sintetičnega ovoja.



Slika 15. Vrvica beta (lasten arhiv).

**Vrvico gama** smo dobili z odstranitvijo sintetičnega ovoja.



Slika 16. Vrvica gama (lasten arhiv).

Pri **vrvi delta** smo pustili sintetični ovoj, kar je povzročilo »čudno« raztezanje. Uporabili smo tri različne dolžine.



Slika 17. Vrvica delta (lasten arhiv).

Mase vrvic na enoto dolžine so bile med  $6 \frac{g}{m}$  do  $10 \frac{g}{m}$  in smo jih v vseh računih zanemarili

### 5.3. Merjenje raztezkov in dolžine skoka

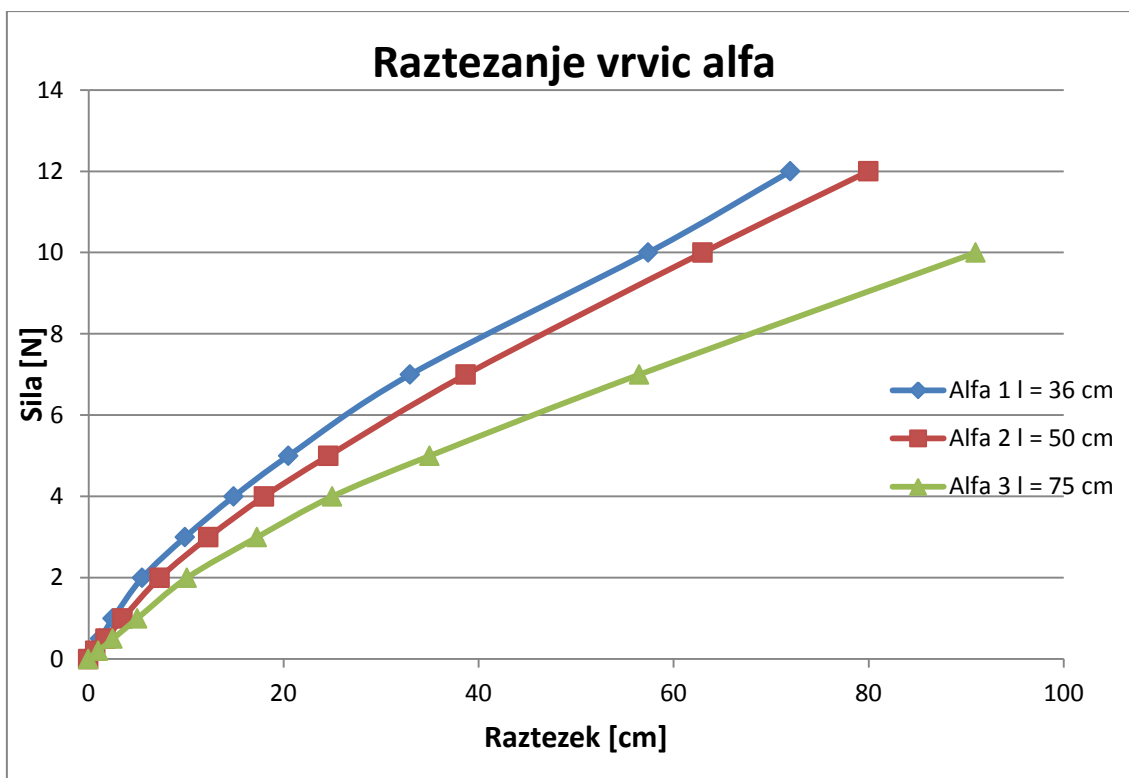
#### 5.3.1. Vrvica alfa

Raztezke smo merili pri treh dolžinah vrvice alfa. Vrvica alfa 1 je imela dolžino 36 cm, alfa 2 je imela dolžino 50 cm in alfa 3 je bila dolga 75 cm. Rezultati so razvidni iz naslednje tabele:

Tabela 1. Raztezanje vrvic alfa.

<b>F = sila [N]</b>	<b>x = raztezek [cm] alfa 1, l = 36 cm</b>	<b>x = raztezek [cm] alfa 2, l = 50 cm</b>	<b>x = raztezek [cm] alfa 3, l = 75 cm</b>
0,2	0,5	0,7	1,0
0,5	1,2	1,75	2,5
1,0	2,5	3,5	5,0
2,0	5,5	7,3	10,1
3,0	9,9	12,3	17,3
4,0	14,9	18,0	25,0
5,0	20,5	24,6	35,0
7,0	33,0	38,7	56,5
10,0	57,4	63,0	91,0
12,0	72,0	80,0	

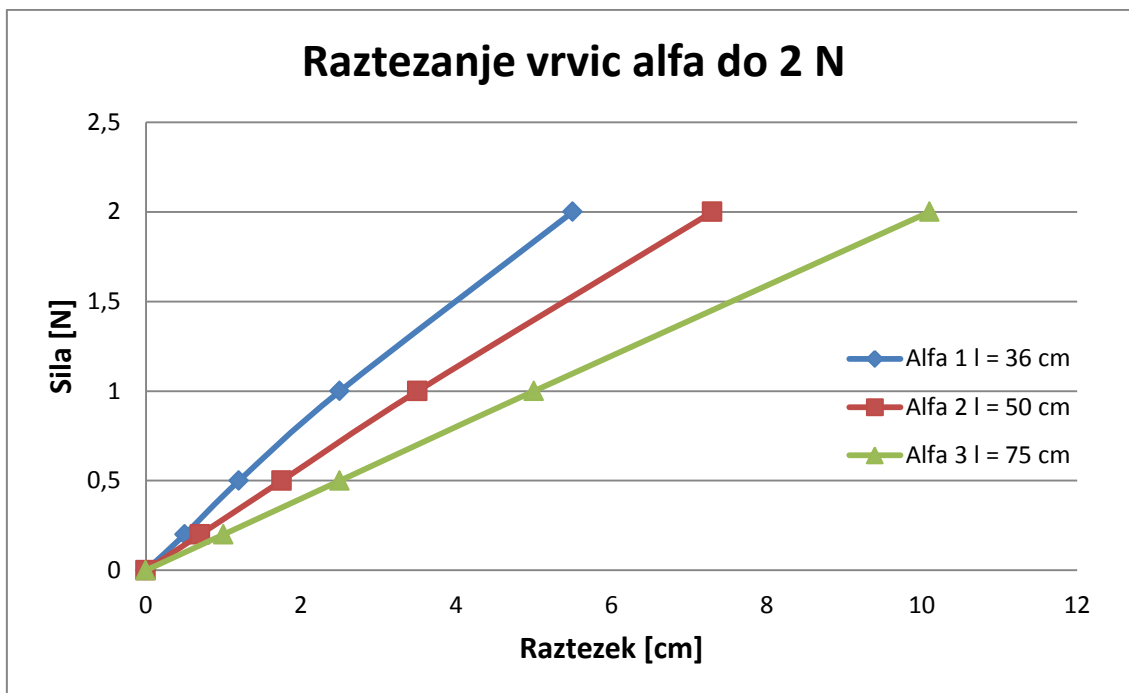
Grafični prikaz je:



Slika 18. Raztezanje vrvic alfa (lasten arhiv).

Dobljeni graf nas je presenetil, saj ni v skladu s pričakovanjem, da bodo krivulje premice, kot bi sledilo iz Hookovega zakona. Ker smo podobno ugotovili tudi pri vseh ostalih vrvicah, se je zato naša **prva hipoteza izkazala za nepravilno**. Hookov zakon ne velja za celotno območje raztezanja vrvi.

Če pa upoštevamo meritve samo do obremenitve 2 N (male obremenitve, mali raztezki), pa vidimo, da Hookov zakon velja.



Slika 19. Raztezanje vrvic alfa do 2 N (lasten arhiv).

Krivulje so (skoraj) premice in raztezki so sorazmerni dolžini vrvic. Če pri vseh treh vrvicah primerjamo raztezke pri obremenitvi 1 N:

$$l=36 \text{ cm}, \quad x=2,5 \text{ cm}, \quad \frac{x}{l} = 0,069, \quad k = 40 \frac{\text{N}}{\text{m}},$$

$$l=50 \text{ cm}, \quad x= 3,5\text{cm}, \quad \frac{x}{l} =0,07, \quad k = 28,6 \frac{\text{N}}{\text{m}},$$

$$l=75 \text{ cm}, \quad x=5 \text{ cm}, \quad \frac{x}{l} = 0,067, \quad k = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}},$$

ugotovimo, da so raztezki v razmerju dolžin vrvic. To pomeni, da so raztezki pri isti obremenitvi sorazmerni dolžini vrvic. **Naša druga hipoteza je potrjena** za male raztezke, ko velja Hookov zakon.

Pri drugem delu meritve smo za »skakanje« izbrali vrvico alfa 2 ( $l = 0,5 \text{ m}$ ), »skakalci« pa so bile uteži z maso 0,1 kg, 0,2 kg in 0,3 kg. Meritve smo 5 krat ponovili, da smo lahko ocenili napako. Za dolžino skoka ( $y$ ) smo dobili naslednji rezultat:

$m=0,1 \text{ kg}$ ,  $y = (l+x) = 77,6 \text{ cm} \pm 1,1 \text{ cm}$

$m=0,2 \text{ kg}$ ,  $y = (l+x) = 96 \text{ cm} \pm 2,5 \text{ cm}$

$m=0,3 \text{ kg}$ ,  $y = (l+x) = 115,2 \text{ cm} \pm 3 \text{ cm}$

Ker Hookov zakon ne velja, nismo mogli računati prožnostne energije iz enačbe na strani 11 (konstanta elastičnosti vrvi se ne da določiti), prav tako se dolžina skoka ne more napovedati z enačbo na strani 13.

Ker je prožnostna energija enaka ploščini pod krivuljo sile in raztezka, smo ploščino »ročno« izmerili.



Slika 20. Raztezanje vrvice alfa 2 (lasten arhiv).

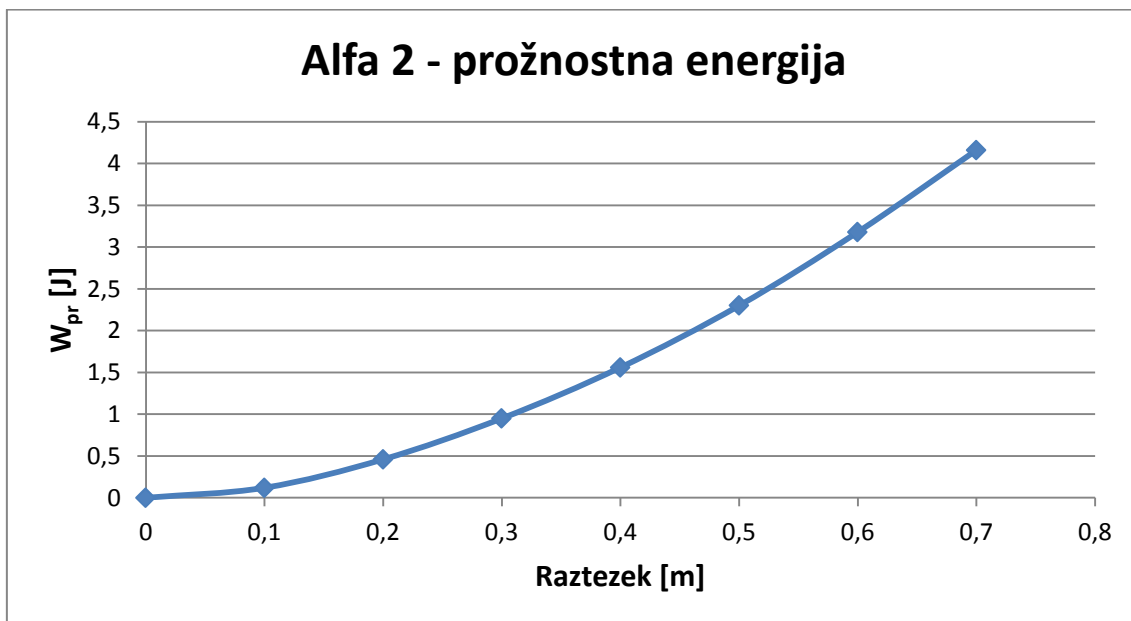
Dobili smo naslednji rezultat:



Tabela 2. Prožnostna energija

Raztezek x [m]	Prožnostna energija $W_{pr}$ [J]
0,1	0,12
0,2	0,46
0,3	0,95
0,4	1,56
0,5	2,30
0,6	3,18
0,7	4,16

Grafični prikaz:

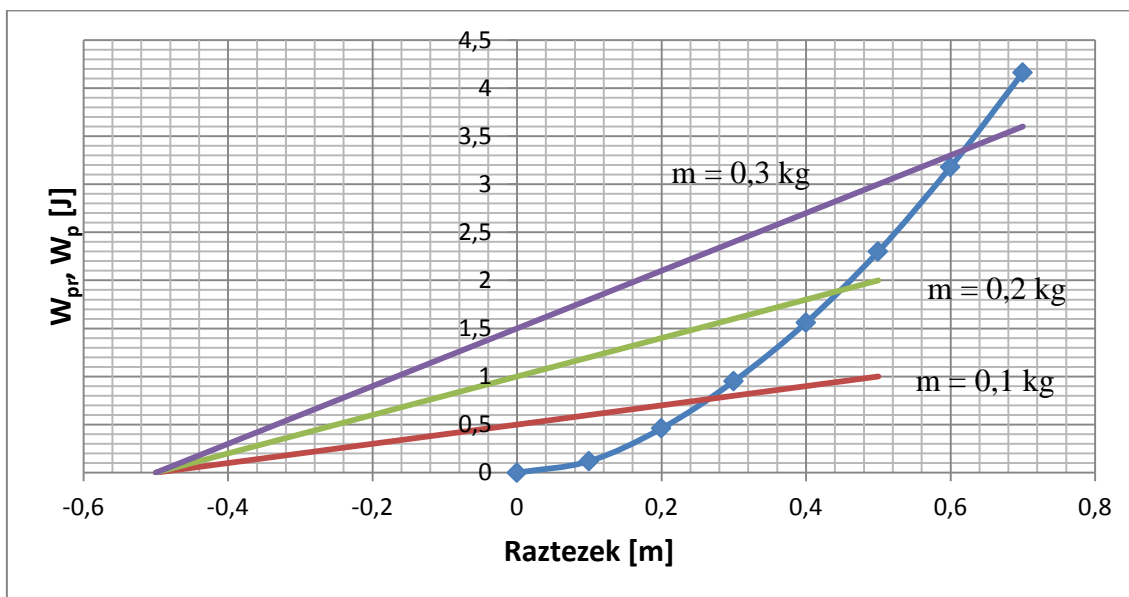


Slika 21. Prožnostna energija vrvice alfa 2 (lasten arhiv).

Skakalec bo dosegel najnižjo točko takrat, ko bo njegova začetna potencialna energija enaka prožnostni energiji vrvi. Če se skakalec ustavi ko je vrv raztegnjena za nek x, torej velja:

$$W_p = mg(1+x) = W_{pr} \text{ (pri } x)$$

Enačba:  $W_p = mg(1+x) = mgl+mgx$  v spodnjem diagramu predstavlja premico, ki seka vodoravno os pri  $x = -1$ , pri  $x = 0$  pa ima vrednost  $mgl$ . Skozi obe točki narišemo premico in kjer premica seka krivuljo prožnostne energije dobimo raztezek, kjer sta obe energiji enaki. To je raztezek vrvice, ko je skakalec v spodnji legi. Če k temu prištejemo dolžino vrvice, dobimo dolžino skoka  $y$ .



Slika 22. Določitev dolžine skoka pri alfa 2 (lasten arhiv).

Zgornji graf smo povečali, odčitali raztezek in »napovedali« dolžino skoka.

**m = 0,1 kg, x = 27 cm, y = 77 cm      izmerjeno y = 77,6 cm ± 1,1 cm**

**m = 0,2 kg, x = 44 cm, y = 94 cm      izmerjeno y = 96 cm ± 2,5 cm**

**m = 0,3 kg, x = 62 cm, y = 112 cm      izmerjeno y = 115,2 cm ± 3 cm**

Ujemanje je zadovoljivo. Dolžina skoka je večja, če je masa skakalca večja. **To potrjuje prvi del naše tretje hipoteze.**

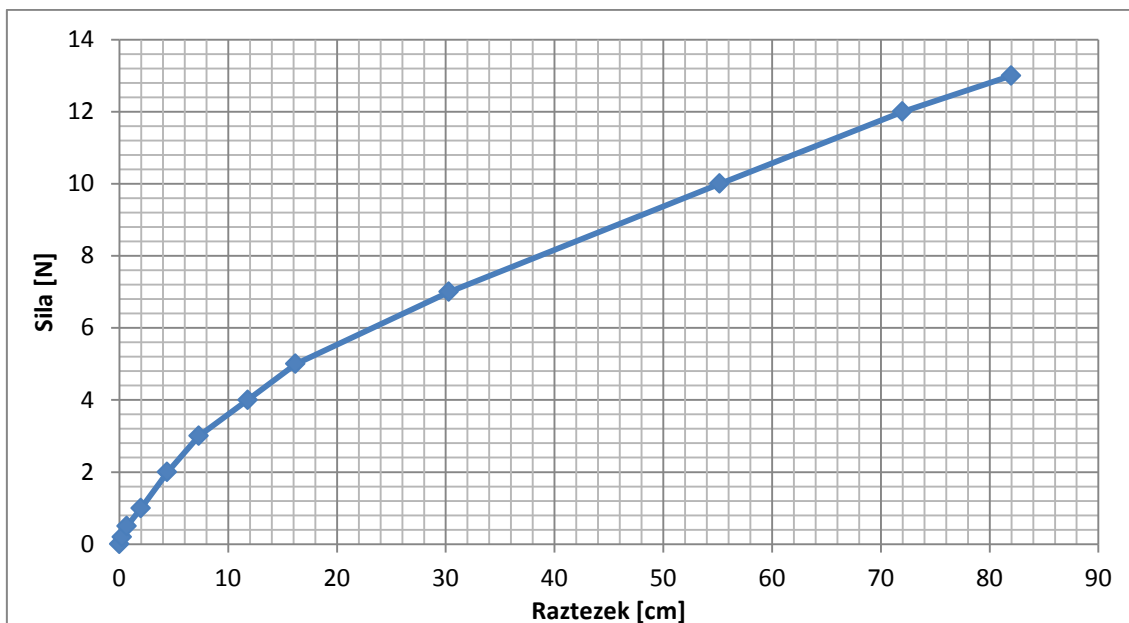
### 5.3.2. Vrvica beta

Vrvica beta je bila dolga 40 cm. Rezultati raztezanje so vidni iz naslednje tabele.

Tabela 3. Raztezanje vrvice beta.

<b>F = sila [N]</b>	<b>x = raztezek [cm] beta, l = 40 cm</b>
0,2	0,25
0,5	0,7
1,0	2,0
2,0	4,4
3,0	7,3
4,0	11,8
5,0	16,2
7,0	30,3
10,0	55,2
12,0	72
13,0	82

Grafični prikaz je:



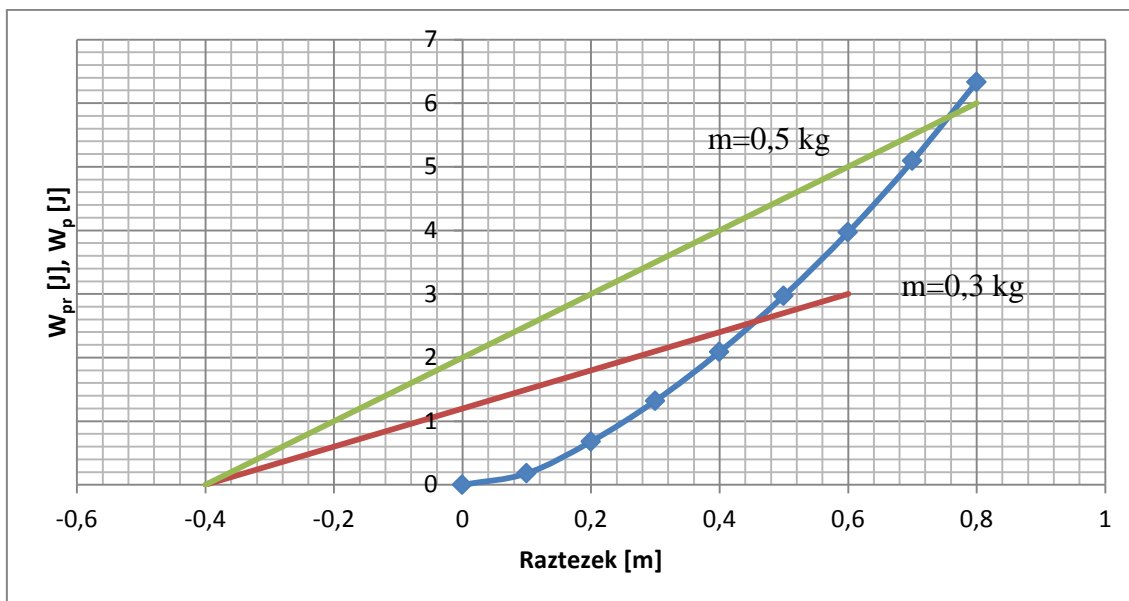
Slika 23. Raztezanje vrvice beta (lasten arhiv).

Na enak način kot pri vrvici alfa smo izmerili ploščine pod krivuljo in določili prožnostno energijo vrvice.

Tabela 4. Prožnostna energija vrvice beta.

Raztezek $x$ [m]	Prožnostna energija $W_{pr}$ [J]
0,1	0,18
0,2	0,68
0,3	1,32
0,4	2,09
0,5	2,97
0,6	3,97
0,7	5,09
0,8	6,33

Dolžino skoka smo za uteži 0,3 kg in 0,5 kg »napovedali« na enak način, kot smo opisali pri vrvici alfa.



Slika 24. Določitev dolžine skoka pri vrvici beta (lasten arhiv).

Izračunane vrednosti smo primerjali z izmerjenimi.

**m = 0,3 kg,    y (izračunan) = 86 cm    y ( izmerjen) = 88,5 cm ± 1,1 cm**

**m = 0,5 kg,    y (izračunan) = 117 cm    y ( izmerjen ) = 118,1 cm ± 2,5 cm**

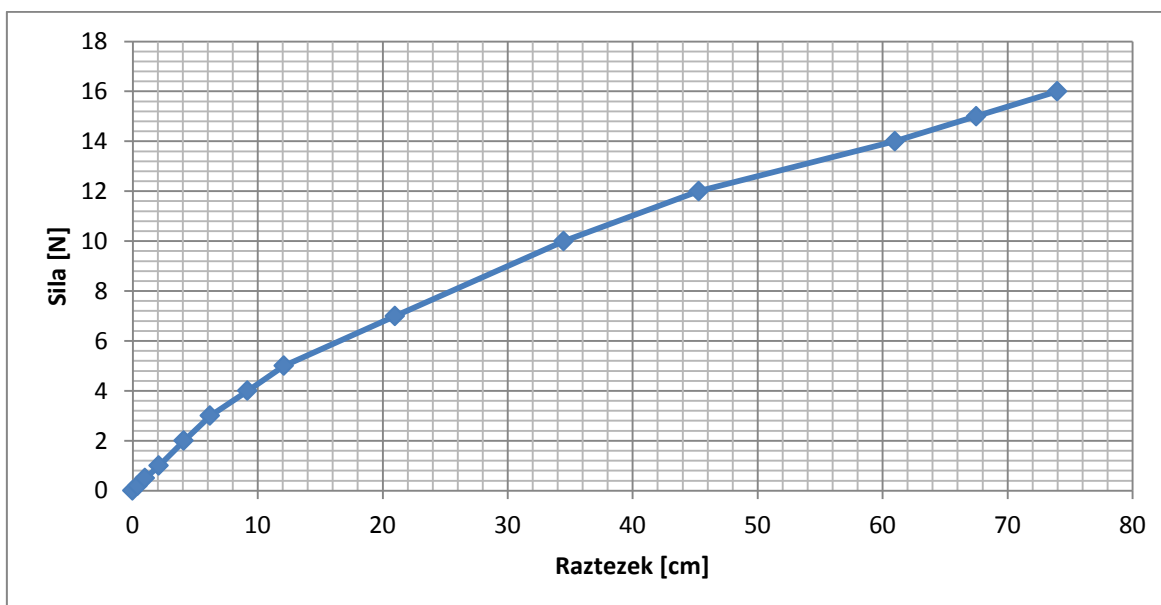
### 5.3.3. Vrvica gama

Vrvica gama je bila dolga 40 cm. Rezultati raztezanje so vidni iz naslednje tabele.

Tabela 5. Raztezanje vrvice gama.

<b>F = sila [N]</b>	<b>x = raztezek [cm] gama, l = 40 cm</b>
0	0
0,2	0,4
0,5	1
1	2,1
2	4,1
3	6,2
4	9,2
5	12,1
7	21
10	34,5
12	45,3
14	61
15	67,5
16	74

Grafični prikaz je:



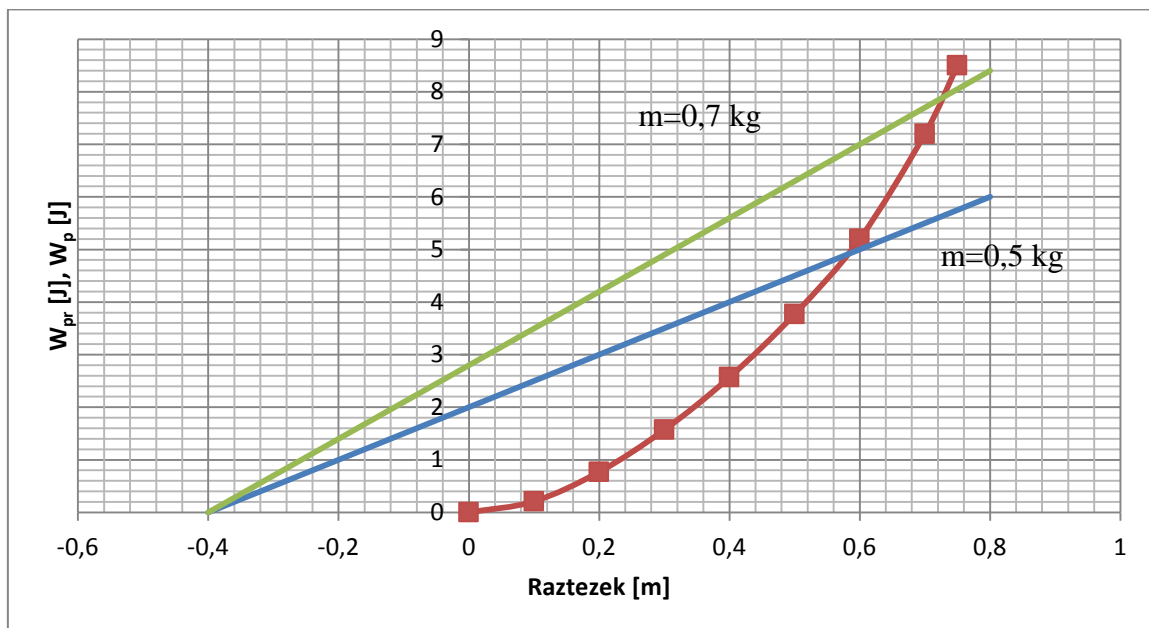
Slika 25. Raztezanje vrvice gama (lasten arhiv).

Na enak način kot pri vrvici alfa smo izmerili ploščine pod krivuljo in določili prožnostno energijo vrvice.

Tabela 6. Prožnostna energija vrvice gama.

Raztezek $x$ [m]	$W_{pr}$ [J]
0,1	0,21
0,2	0,77
0,3	1,57
0,4	2,57
0,5	3,77
0,6	5,2
0,7	7,2
0,75	8,5

Dolžino skoka smo za uteži 0,5 kg in 0,7 kg »napovedali« na enak način, kot smo opisali pri vrvici alfa.



Slika 26. Določitev dolžine skoka pri vrvici gama (lasten arhiv).

Izračunane vrednosti smo primerjali z izmerjenimi.

**m = 0,5 kg,    y (izračunan) = 97 cm    y ( izmerjen) = 95,4 cm ± 3 cm**

**m = 0,7 kg,    y (izračunan) = 115 cm    y ( izmerjen ) = 113,3 cm ± 2,5 cm**

### 5.3.4. Vrvica delta

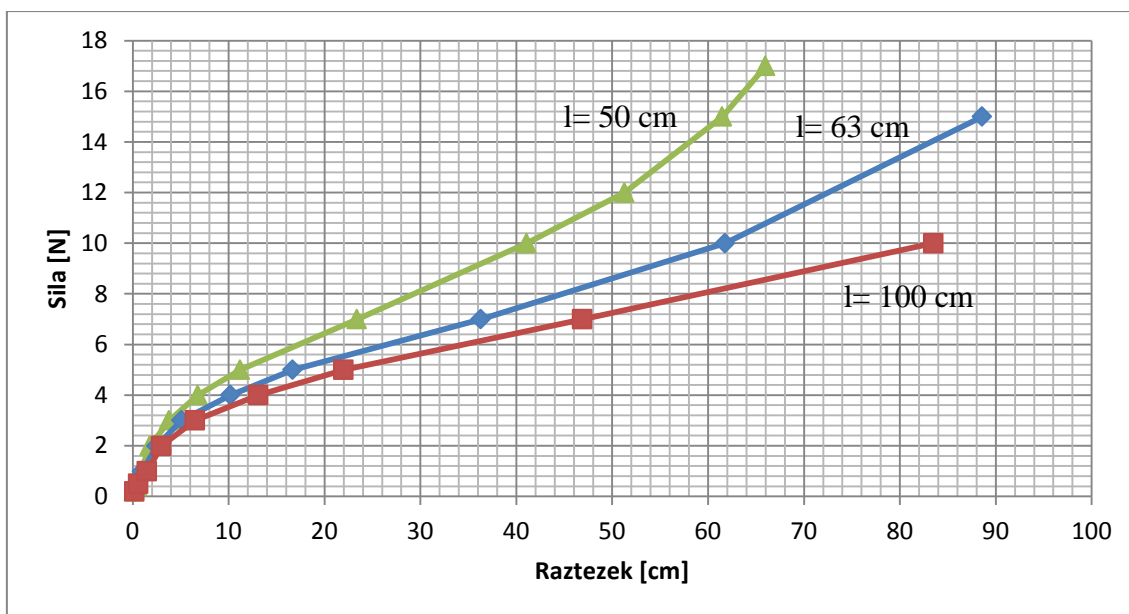
Uporabili smo tri vrvice delta z dolžinami: 50 cm (delta 1), 63 cm (delta 2) in 100 cm (delta 3). Rezultati so razvidni iz naslednje tabele:

Tabela 7. Raztezanje vrvice delta.

<b>F= sila [N]</b>	<b>x= raztezek [cm] delta 1, l = 50 cm</b>	<b>x= raztezek [cm] delta 2, l = 63 cm</b>	<b>x= raztezek [cm] delta 3, l = 100 cm</b>
0,2	0,15	0,25	0,2
0,5	0,5	0,5	0,6
1,0	0,8	1,0	1,5
2,0	1,8	2,5	3,0
3,0	3,8	5,1	6,5
4,0	6,8	10,2	13,1
5,0	11,2	16,7	22,0
7,0	23,4	36,3	46,9
10,0	41,1	61,8	83,5
12,0	51,3		
15,0	61,5	88,6	
17,0	66,0		

Grafični prikaz je:





Slika 27. Raztezanje vrvic delta (lasten arhiv).

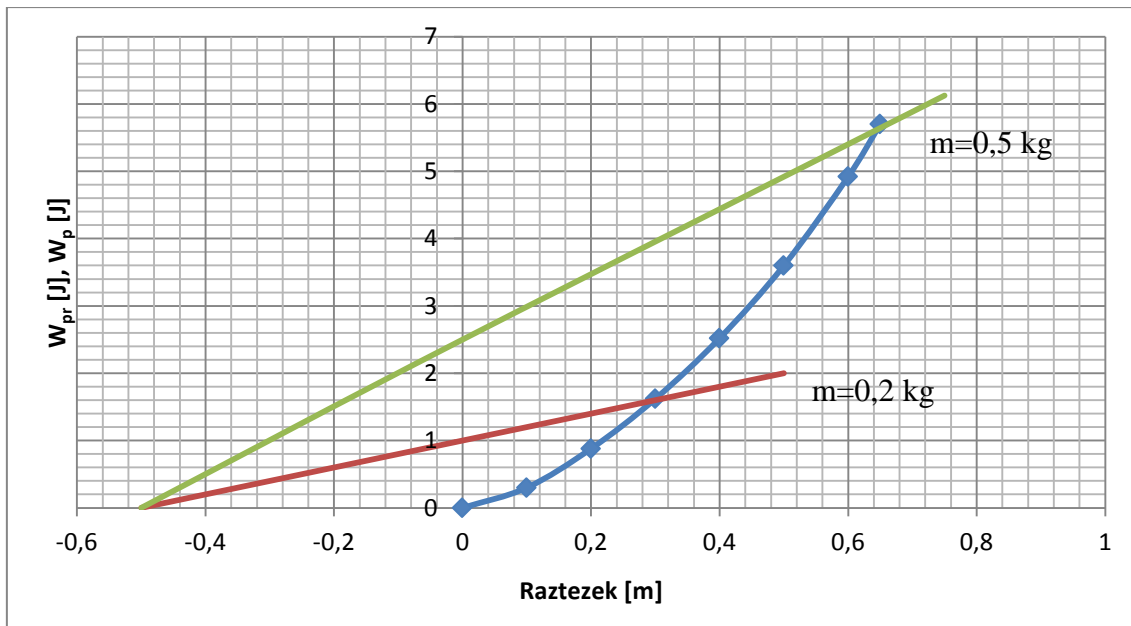
Iz slike se lepo vidi vpliv sintetičnega ovoja vrvice, ki pri večjih obremenitvah »zavira« raztezanje vrvice.

Skakanje smo izvedli z vrvico delta 1. Na enak način kot priv vrvici alfa smo iz grafa določili prožnostno energijo. Rezultat je:

Tabela 8. Prožnostna energija vrvice delta 1.

Raztezek $x$ [m]	$W_{pr}$ [J]
0,1	0,3
0,2	0,88
0,3	1,62
0,4	2,52
0,5	3,6
0,6	4,92
0,65	5,7

Dolžino skoka smo za uteži 0,2 kg in 0,5 kg »napovedali« na enak način, kot smo opisali pri vrvici alfa.



Slika 28. Določitev dolžine skoka pri vrvi delta 1 (lasten arhiv).

Izračunane vrednosti smo primerjali z izmerjenimi.

$m = 0,2 \text{ kg}$ ,  $y$  (izračunan) = 79 cm  $y$  (izmerjen) = 76 cm  $\pm$  1,4 cm

$m = 0,5 \text{ kg}$ ,  $y$  (izračunan) = 114 cm  $y$  (izmerjen) = 113,7 cm  $\pm$  0,9 cm

## 6. UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK

Prva naša ugotovitev je, da Hookov zakon pri elastičnih vrveh velja le za male sile in raztezke. Iz naših meritev lahko ocenimo, da Hookov zakon dobro velja le, če raztezek vrvi ne preseže 10% dolžine vrvic. V tem območju lahko tudi določimo elastično konstanto. Pri večjih silah in raztezkih, se vrvic raztezajo močneje kot napoveduje Hookov zakon. V celotnem območju raztezanja velja, da je raztezek pri isti obremenitvi večji pri daljših vrvicah. Te ugotovitve se lepo vidijo na sliki 17. **Prva naša hipoteza se je izkazala za nepravilno, druga hipoteza pa je potrjena za male raztezke.**

Pri »skakanju« smo naleteli na težavo. Raztezki pri skakanju so veliki in presegajo tudi dolžino vrvic. Hookov zakon ne velja, elastične konstante ni mogoče določiti, prav tako ne velja enačba za prožnostno energijo (stran 11). Seveda mora veljati ohranitev energije. Začetna potencialna energija je enaka prožnostni energiji v spodnji legi. Grafično smo izračunali prožnostno energijo in teoretično izračunali dolžino skoka in jo primerjali z izmerjeno. Pri meritvah smo ocenili tudi napako meritve. Skoraj pri vseh meritvah so izračunane vrednosti znotraj napake meritve. To ne preseneča, saj dokazuje pravilnost energijskega zakona. Zunanji vplivi na utež pri skakanju so zanemarljivi, zato se vsa potencialna energija pretvori v prožnostno. Dolžina skoka je večja, če je masa skakalca večja. **Prvi del tretje hipoteze je potrjen, drugi del pa ne, saj so raztezki preveliki in ne moremo določiti konstante elastičnosti.**

Tabela 9. Pregled dolžin skokov

	vrvica alfa 1		vrvica beta		vrvica gama		vrvica delta 1	
masa [kg]	$y_{izm}$ [cm]	$y_{izr}$ [cm]	$y_{izm}$ [cm]	$y_{izr}$ [cm]	$y_{izm}$ [cm]	$y_{izr}$ [cm]	$y_{izm}$ [cm]	$y_{izr}$ [cm]
0,1	77,6 ±1,1	77						
0,2	96 ±2,5	94					76 ±1,4	79
0,3	115,2 ±3	112	88,5 ±1,1	86				
0,5			118,1 ±2,5	117	95,4 ±3	97	113,7 ±0,9	114
0,7					113,3 ±2,5	115		

Največja sila na skakalca deluje takrat, ko je skakalec v spodnji legi in je vrv najbolj raztegnjena. Raztezek v spodnji legi smo izmerili in iz znane krivulje sile in raztezka lahko preberemo silo na utež ( $F_{max}$ ) in jo primerjamo s silo teže. Dobili smo naslednje rezultate:

Tabela 10. Razmerje med največjo silo in težo.

skakalec	vrvica alfa 1	vrvica beta	vrvica gama	vrvica delta 1
masa [kg]	$X = \frac{F_{max}}{mg}$	$X = \frac{F_{max}}{mg}$	$X = \frac{F_{max}}{mg}$	$X = \frac{F_{max}}{mg}$
0,1	5,1			
0,2	4,1			3,7
0,3	3,3	3,1		
0,5		2,5	2,5	3,0
0,7			2,3	

Razmerje X se manjša, če je masa skakalca večja. Iz podatkov na spletu smo našli, da je pri resničnem skakanju z vrvjo to razmerje med 2 in 3.

### 6.1. Družbena odgovornost

Raziskovalna naloga, ki smo jo naredili in jo predlagamo za ocenitev, nima posebnega vpliva na družbo in okolje. Organizatorji, ki organizirajo resnično skakanje z vrvjo, pa morajo razmišljati o vplivu na družbo in okolje. Mesta, kjer se izvajajo skoki z vrvmi, ne smejo imeti negativnega vpliva na okolje. Posebno skrb morajo organizatorji posvetiti tudi varnosti in pravilnemu obveščanju udeležencev skokov z vrvmi.

## 7. SEZNAM LITERATURE

1. Rudolf Kladnik: Visokošolska fizika 1. del. DZS, Ljubljana 1985.
2. Janez Strnad: Skakanje z vrvjo, Obzornik za matematiko in fiziko 43, strani 178-182, 1996.
3. Jana Padežnik Gomilšek: Osnove fizike, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2008.
4. Rudolf Kladnik: Fizika za srednješolce. 2, Energija, DZS, Ljubljana, 2006.
5. <http://www.itforus.oeiizk.waw.pl/tresc/activ//modules/bj.pdf>  
(11. 2. 2013)
6. [http://seniorphysics.com/physics/bungee\\_physics.pdf](http://seniorphysics.com/physics/bungee_physics.pdf)  
(11. 2. 2013)

## KAZALO SLIK

Slika 1. Skakanje z vrvjo v Solkanu (lasten arhiv).....	1
Slika 2. Shema meritve (lasten arhiv).....	2
Slika 3. Raztezanje elastične vrvi (lasten arhiv).....	4
Slika 4. Graf Hookovega zakona (lasten arhiv).....	5
Slika 5. Delo sile, če je sila konstantna (lasten vir).....	6
Slika 6. Delo sile, če se sila spreminja (lasten arhiv). ....	6
Slika 7. Delo elastične sile, če velja Hookov zakon (lasten arhiv).....	7
Slika 8. Potencialna energija skakalca na začetku je enaka prožnostni energiji vrvi na koncu (lasten arhiv). ....	8
Slika 9. Deska z merilnim trakom (lasten arhiv). ....	10
Slika 10. Uteži, ki smo jih uporabljali (lasten arhiv).....	11
Slika 11. Merjenje raztezka (lasten arhiv). ....	12
Slika 12. Merjenje dolžine skoka, utež v zgornji legi (lasten arhiv). ....	13
Slika 13. Merjenje dolžine skoka, utež v spodnji legi v programu Quick Time (lasten arhiv).....	14
Slika 14. Vrvica alfa (lasten arhiv). ....	15
Slika 15. Vrvica beta (lasten arhiv). ....	15
Slika 16. Vrvica gama (lasten arhiv). ....	16
Slika 17. Vrvica delta (lasten arhiv). ....	16
Slika 18. Raztezanje vrvic alfa (lasten arhiv). ....	18
Slika 19. Raztezanje vrvic alfa do 2 N (lasten arhiv). ....	19
Slika 20. Raztezanje vrvic alfa 2 (lasten arhiv). ....	20
Slika 21. Prožnostna energija vrvic alfa 2 (lasten arhiv). ....	21
Slika 22. Določitev dolžine skoka pri alfa 2 (lasten arhiv). ....	22
Slika 23. Raztezanje vrvic beta (lasten arhiv).....	24
Slika 24. Določitev dolžine skoka pri vrvici beta (lasten arhiv). ....	25
Slika 25. Raztezanje vrvic gama (lasten arhiv).....	26
Slika 26. Določitev dolžine skoka pri vrvici gama (lasten arhiv). ....	27
Slika 27. Raztezanje vrvic delta (lasten arhiv). ....	29
Slika 28. Določitev dolžine skoka pri vrvici delta 1 (lasten arhiv). ....	30

## KAZALO TABEL

Tabela 1. Raztezanje vrvic alfa.....	17
Tabela 2. Prožnostna energija.....	21
Tabela 3. Raztezanje vrvic beta. ....	23
Tabela 4. Prožnostna energija vrvic beta. ....	24
Tabela 5. Raztezanje vrvic gama. ....	26
Tabela 6. Prožnostna energija vrvic gama. ....	27
Tabela 7. Raztezanje vrvic delta. ....	28
Tabela 8. Prožnostna energija vrvic delta 1. ....	29
Tabela 9. Pregled dolžin skokov .....	31
Tabela 10. Razmerje med največjo silo in težo. ....	32