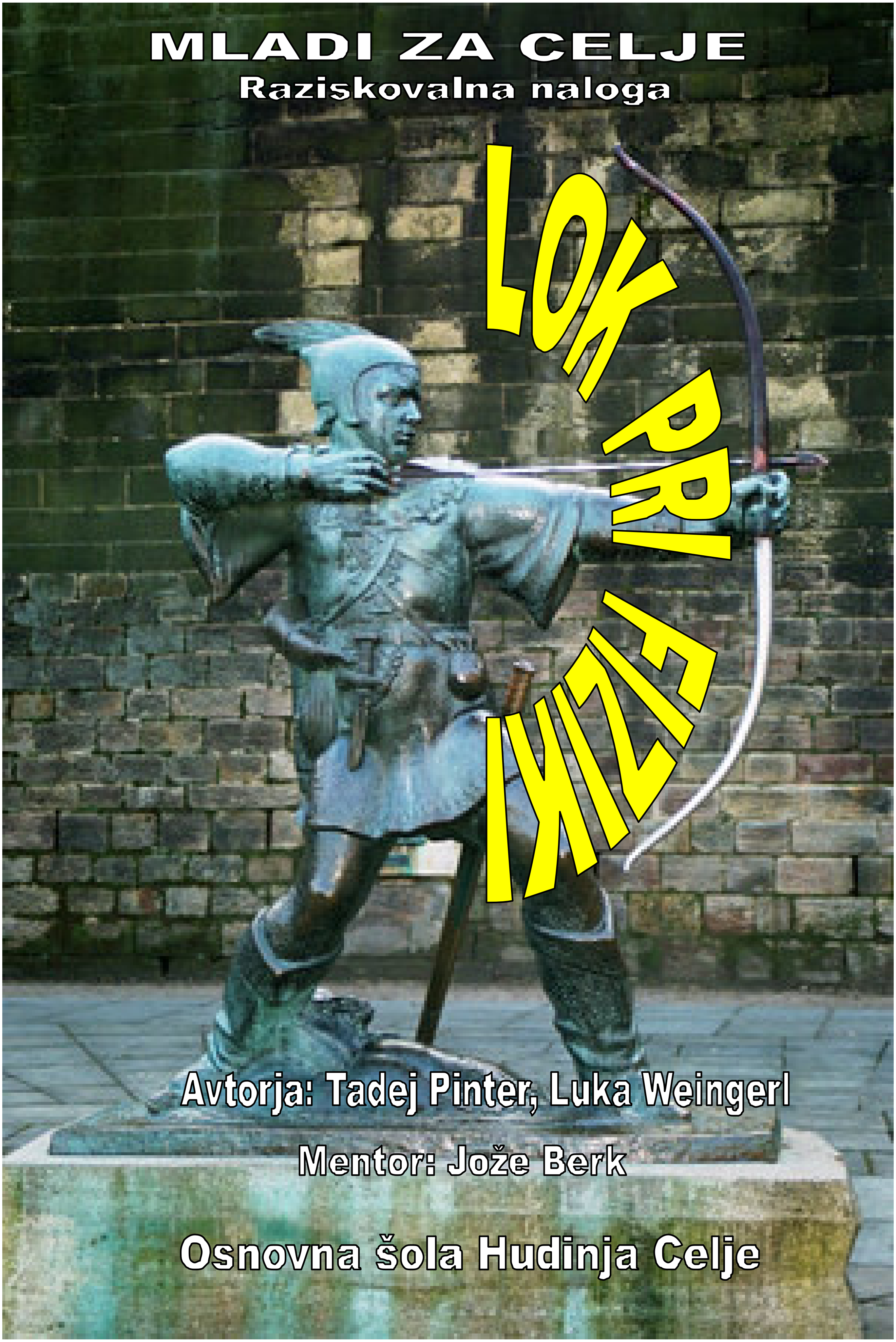


MLADI ZA CELJE

Raziskovalna naloga

LOK PRI FIZIKI

Avtorja: Tadej Pinter, Luka Weingerl

Mentor: Jože Berk

Osnovna šola Hudinja Celje

RAZISKOVALNA NALOGA

LOK PRI FIZIKI

Avtorja:

Tadej PINTER, 9.b

Luka WEINGERL, 9.b

Mentor:

Jože BERK, prof.

Osnovna šola Hudinja CELJE

Šolsko leto 2005/2006

I. VSEBINA

II. POVZETEK

Lok predstavlja velik izziv mnogim športnikom, midva pa sva v raziskovalni nalogi poskušala pokazati, da je lahko zanimiv tudi v fiziki. Meniva celo, da bi lahko lok načrtno uporabili pri pouku fizike, saj omogoča široke možnosti uporabe pri različnih učnih vsebinah iz področja statike in kinematike. Je enostaven za uporabo, učencem je dovolj zanimiv in bi lahko predstavljal lep primer uporabe fizike v praksi. Zagotovo bi učenci bolje in z večjo motivacijo spremljali pouk fizike, ki bi se odvijal ob streljanju z lokom.

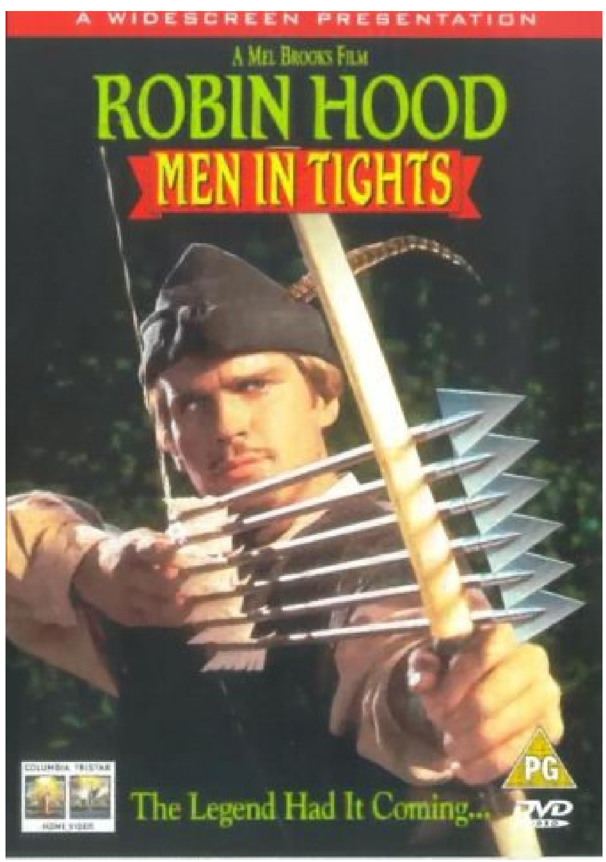
Ali vas zanima kaj se dogaja s silami pri napenjanju loka, koliko dela opravimo pri tem, s kolikšno hitrostjo in kako daleč odleti puščica, kako visoko se povzpne, če jo izstrelimo navpično navzgor? Na takšna in podobna vprašanja sva odgovorila v okviru najine naloge. Uporaba loka omogoča relativno enostavno merjenje oziroma izračun mnogih fizikalnih količin, kot so sila, čas, razdalja, hitrost, višina, delo, energija, zračni upor. V nalogi sva preverila uporabnost fizikalnih enačb, saj sva količine merila in jih nato preverila še z rezultati pri praktičnih meritvah. Seveda sva upoštevala tudi napake pri meritvah in najine hipoteze preverjala v okviru možne natančnosti. Tako sva dokazala, da pri streljanju z lokom velja zakon o ohranitvi energije, da se prožnostna energija loka pretvori v kinetično energijo puščice pri vodoravnem strelu oziroma v potencialno energijo pri navpičnem strelu in da moramo pri ohranitvi energije upoštevati tudi vpliv zračnega upora.

Pri izvajanju meritev sva dobila tudi ideje, kako bi lahko pri loku preverili oziroma natančneje raziskali še več fizikalnih količin, kot so: elastičnost loka, zračni upor, prožnostna energija loka in druge. Gre za zahtevnejše pojme, ki se obravnavajo v srednji šoli in zagotovo bova takrat preverila tudi te količine.

III. UVOD

Bil je lep ter sončen dan v Sherwoodskem gozdu. Za njegove prebivalce drugačen od ostalih. Bil je nekaj čisto posebnega. Zakaj? Zaradi tekmovanja. Kakšnega? Danes se bodo vendar najboljši lokostrelci pomerili med seboj. Potoček je mimo šumel, ptički so prepevli, gledalci pa so zadrževali dih – zdaj, zdaj, bo Robin Hood izstrelil prvo puščico. Robin Hood že napenja lok in se pripravlja na strel. Misli gledalcev so tako močne, da bi jih lahko rezali. Le s kakšno silo napenja lok? Kakšen pospešek bo imela njegova puščica? S kakšno hitrostijo bo poletela proti tarči? Ali bo veter spremenil smer ali hitrost puščice?

Pa še recite, da pri gledanju filmov ne potrebuješ znanja fizike!

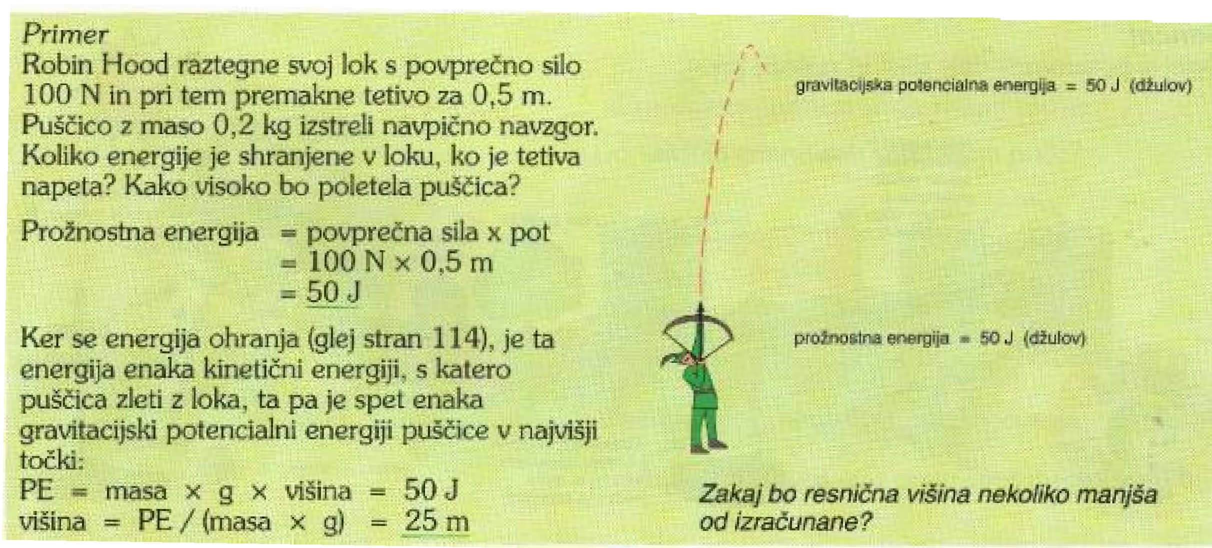


***Slika 1:** naslovnica enega od mnogih filmov o Robin Hoodu*

III.1. Cilji raziskovalne naloge

Znameniti film o Robinu Hoodu sva si seveda ogledala tudi midva. Ostalim gledalcem v dvorani se takšna in podobna vprašanja verjetno niso zastavljala. Nama pa. Verjetno tudi zato, ker smo v devetem razredu pri fiziki temeljito obravnavali gibanje teles ter delo in energijo. Zanimalo naju je, ali bi lahko znanje fizike uporabila pri streljanju z lokom. Najina radovednost je bila tolikšna, da sva se odločila za izdelavo raziskovalne naloge na to temo.

V knjigi FIZIKA – preproste razlage fizikalnih pojavov (Keith Johnson, TZS 1996) sva zasledila zanimiv primer naloge, ki naju je še dodatno vzpodbudila k odločitvi, da izdelava raziskovalno nalogo o loku :



Primer

Robin Hood raztegne svoj lok s povprečno silo 100 N in pri tem premakne tetivo za 0,5 m. Puščico z maso 0,2 kg izstreli navpično navzgor. Koliko energije je shranjene v loku, ko je tetiva napeta? Kako visoko bo poletela puščica?

Prožnostna energija = povprečna sila x pot
= 100 N × 0,5 m
= 50 J

Ker se energija ohranja (glej stran 114), je ta energija enaka kinetični energiji, s katero puščica zleti z loka, ta pa je spet enaka gravitacijski potencialni energiji puščice v najvišji točki:

PE = masa × g × višina = 50 J

višina = PE / (masa × g) = 25 m

Zakaj bo resnična višina nekoliko manjša od izračunane?

Posebno pozornost nama je vzbudilo vprašanje ob robu naloge :

Zakaj bo resnična višina nekoliko manjša od izračunane ?

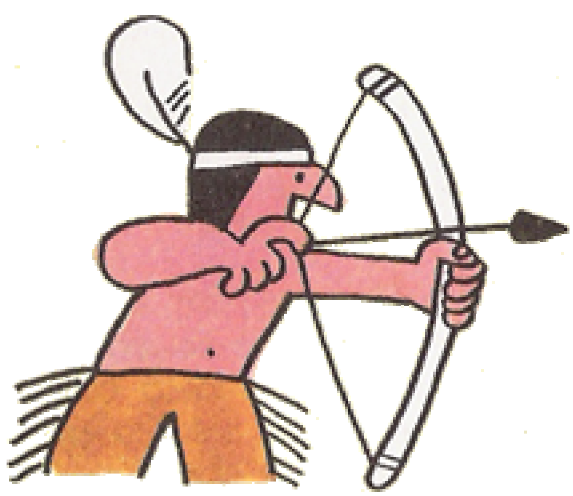
Seveda sva vedela, da bo višina res manjša, a se samo s tem nisva zadovoljila. Med drugim naju je zanimalo, za koliko bo dejanska višina do katere po poletela puščica, manjša od izračunane.

V raziskovali nalogi z naslovom FIZIKA LOKA sva želela z eksperimentom odgovoriti na naslednja vpašanja:
~ na kakšen način delujejo sile pri napenjanju loka,
~ od česa je odvisna dolžina in hitrost leta puščice pri vodoravnem strelu,
~ kako visoko poleti puščica pri navpičnem strelu,
~ ali je let puščice odvisen od teže in oblike puščice,
~ kolikšen je izkoristek opravljenega dela in končne energije puščice?

Izdelavo naloge sva si zamislila tako, da bova vse količine izmerila in jih nato preverila še z fizikalnimi enačbami. Zavedala sva se, da bo primerjava pokazala določena odstopanja med izmerjenimi in izračunanimi rezultati zaradi delovanja nekaterih naravnih sil (zračni upor) in nenazadnje zaradi napak pri merjenju.

Pri izdelavi naloge sva uporabljala lok in različne merilne naprave.

Meniva da bi morali pri pouku fizike v šolah pogosteje uporabljati pripomočke kot je na primer lok. S tem bi lahko učencem na zanimiv način predstavili fizikalne količine in tako preverili veljavnost fizikalnih zakonov v praksi. Pokazalo se je, da je uporaba loka preprosta, fizikalne količine pa enostavno merljive.



Slika 2: *Lokostrelec (FIZIKA 1: GIBANJE, SILA, SNOV, DZS Ljubljana, 1996)*

III.2. Hipoteze raziskovalne naloge

V raziskovalni nalogi sva preverjala veljavnost naslednjih hipotez:

1. Pri streljanju z lokom velja zakon o ohranitvi energije, saj se opravljeno delo pri napenjaju loka pretvori v prožnostno energijo loka, vsota energij med letom puščice pa se ob upoštevanju zračnega upora, ohranja.

2. Prožnostna energija loka se pretvori v kinetično energijo puščice pri vodoravnem strelu oziroma v potencialno energijo puščice pri navpičnem strelu.

3. Pri letu puščice je potrebno upoštevati tudi znaten vpliv zračnega upora, ki zavira gibanje puščice. Zračni upor torej vpliva na razdaljo, ki jo preleti puščica oziroma na višino do katere se ta dvigne in je pri dani hitrosti odvisen od oblike puščice.

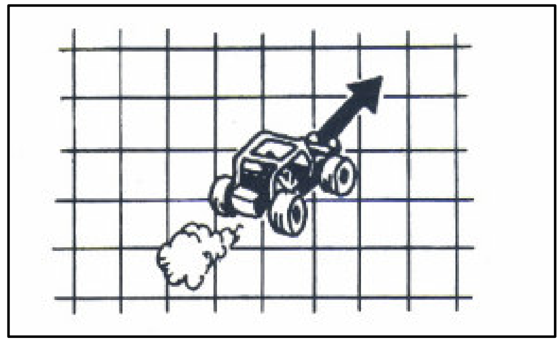
4. Lok je pripomoček, ki je zaradi enostavne uporabe, atraktivnosti in širokih možnosti merjenja fizikalnih količin zelo primeren kot učilo pri poku fizike v osnovni in srednji šoli.

III.3. Oblike in metode dela

V okviru raziskovalne naloge sva uporabila naslednje oblike in metode dela:
- eksperimentalno delo oziroma izvajanje meritev,
- računanje količin iz fizikalnih enačb,
- grafična metoda razstavljanja sil,
- fotografiranje eksperimentov oziroma meritev,
- delo z literaturo in
- delo z računalnikom.

IV. TEORETIČNA IZHODIŠČA

IV. 1. Hitrost



Hitrost je vektorska količina, ki podaja spreminjanje lege telesa ali snovi v prostoru v časovni enoti. Hitrost merimo v metrih na sekundo ali drugih izpeljanih enotah, denimo kilometrih na uro.

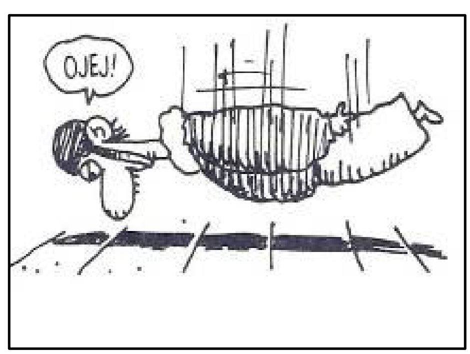
Povprečno hitrost pri gibanju izračunamo tako, da prepotovano razdaljo s delimo s časom t, potrebnim za pot:

$$\bar{v} = \frac{s}{t}$$

Pri premem enakomernem gibanju je hitrost konstantna, pri pospešenem gibanju pa se s časom spreminja. Zgled za pospešeno gibanje je enakomerno kroženje, pri katerem sicer ostaja hitrost po velikosti konstantna, spreminja pa se po smeri.

IV.2. Sestavljena gibanja

Prosti pad



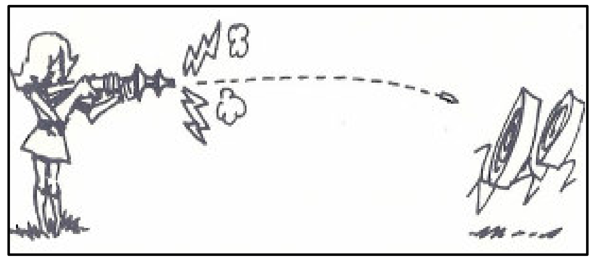
Prosto padanje je pospešeno gibanje v smeri središča zemlje. Če zanemarimo zračni upor, narašča hitrost padanja premo sorazmerno s časom. To velja za višino do približno 5-10 km.

Prosto padanje povzroča gravitacijska sila, pospešek padanja pa gravitacijski oziroma težni pospešek (g).

Težni pospešek je odvisen od višine (višje se zmanjšuje) ter zemljepisne lege (proti poloma se zmanjšuje). Običajno porabljamo za težni pospešek približek $9{,}8\,\frac{m}{s^2}$.

Vodoravni met

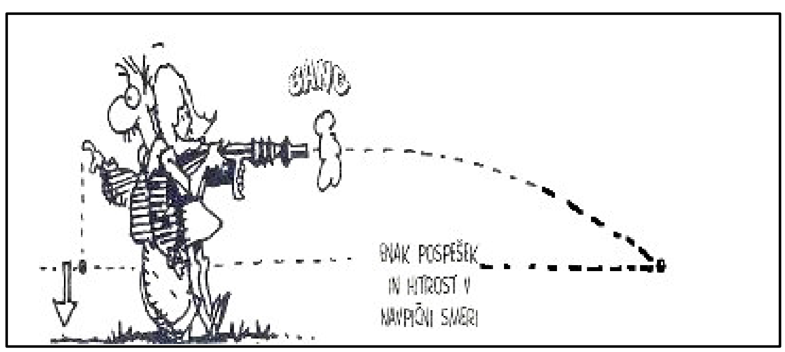
Vodoravni met je gibanje v navpični ravnini, ki je sestavljeno iz enakomernega pospešenega gibanja v smeri navzdol in enakomernega gibanja v vodoravni smeri.



Z višine h nad tlemi vržemo kamen z začetno hitrostjo v_0 v vodoravni smeri. Če ne bi bilo zemeljske oble in njene privlačnosti, bi kamen potoval vseskozi vodoravno. Tako pa se vodoravnemu gibanju pridruži pospešeno gibanje s težnim pospeškom g v smeri navzdol. Rezultat je gibanje telesa po navzdol zakrivljeni paraboli.

Ker v vodoravni smer ni pospeška se vodoravna komponenta hitrosti med gibanjem ne spreminja in je ves čas enaka začetni hitrosti v_0.
Vodoravna komponenta se torej ne spreminja, navpična pa se ves čas povečuje in je največja tik pred udarcem ob tla.

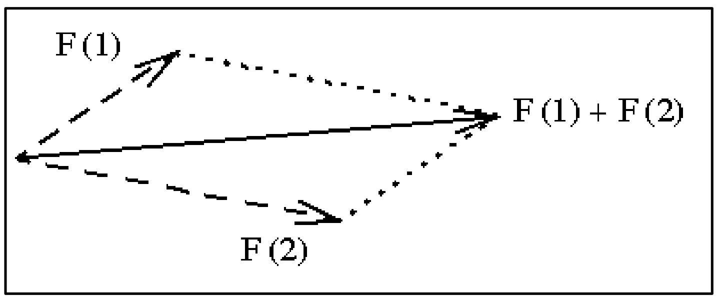
Pomembno je, da se med vodoravnim metom višina telesa spreminja s časom enako kot pri prostem padu.



Če z roke spustimo telo (brez začetne hitrosti) in sočasno vržemo telo v vodoravni smeri s hitrostjo V_0, padeta kroglica in kocka na tla sočasno. Res se kroglica giblje po daljši tirnici, ki ima obliko parabole, zato pa se giblje z večjo hitrostjo kot kocka, ki le pada.

IV.3. Sestavljanje in razstavljanje sil

Grafična metoda za sestavljanje sil

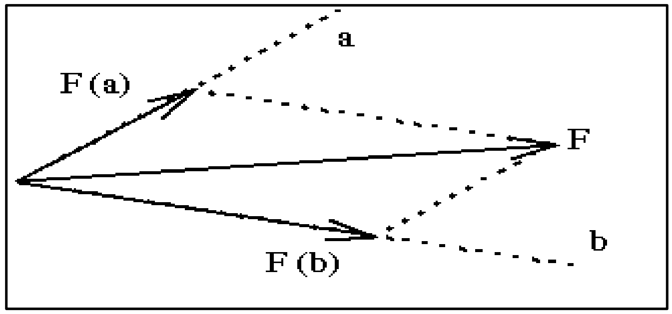


Slika 3: *Sestavljanje sil po paralelogramskem pravilu*

Če sili F(1) in F(2), ki ju želimo sešteti, narišemo kot vektorja s skupno začetno točko, sestavljata stranici paralelograma. Če paralelogram dopolnimo in narišemo diagonalo kot vektor, potem ta predstavlja vsoto sil F(1) in F(2).

Izrek o ravnovesju točkastega telesa pravi, da telo miruje ali se giblje premo enakomerno, kadar je rezultanta vseh zunanjih sil, ki delujejo na telo, enaka nič. Če prenesemo vse sile vzporedno eno za drugo tako, da sovpadata konec prejšnje in začetek naslednje sile, tvorijo sklenjen mnogokotnik – v primeru treh sil trikotnik.

Razstavljanje sile na dve komponenti

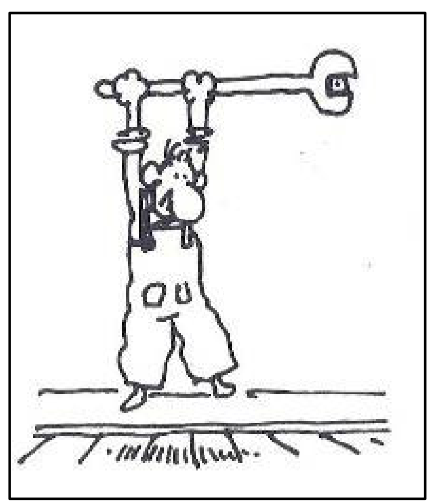


Slika 4: *Razstavljanje sil po paralelogramskem pravilu*

Če želimo razstaviti silo na dve sili F (a) in F (b), ki bi bili vzporedni premicama a in b, moramo uporabiti naslednjo metodo: sestaviti moramo paralelogram, ki bo imel stranici vzporedni premicama a in b in F kot diagonalo.

Stranici paralelograma a in b, če ju vzamemo kot vektorja, ustrezata komponentama, ki nadomestita silo F. Pravimo, da smo dano silo (F) razstavili na dve komponenti: F(a) in F(b).

IV.4. Delo



Delo je produkt sile in poti, ki smo jo opravili. Večja je sila, ki jo vložimo v telo, več dela smo pri premiku opravili. Delo lahko zvečamo tudi tako, da opravimo daljšo pot. Delo, ki ga opravljamo se spreminja v energijo, ki jo ima telo po opravljenem delu.

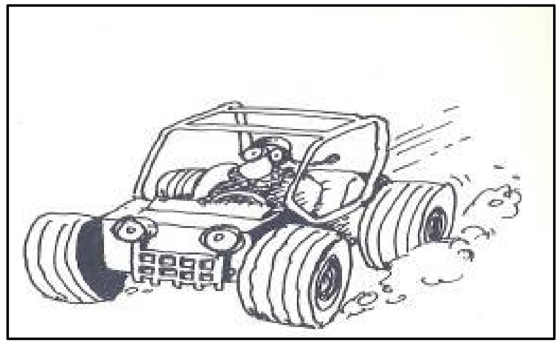
Računamo ga po obrazcu:

$$A = F \cdot s,$$

pri tem je „F" sila in „s" pot, ki jo telo opravi med delovanjem silem na telo.

Enota za delo je Joule (J) ali Newtonmeter (Nm): 1 J = 1 Nm.

IV. 5. Kinetična energija



Kinetično energijo imajo vsa telesa, ki se gibljejo glede na okolico. Kinetično energijo delimo na translacijsko in rotacijsko.

Telo, ki ima maso m ima pri hitrosti v translacijsko kinetično energijo:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}$$

Večja je hitrost oziroma masa telesa, večja je kinetična energija, ki jo ima. Pomembna je predvsem hitrost, saj je energija premo sorazmerna s kvadratom hitrosti (pri dvakrat večji hitrosti je energija štirikrat večja); telo pa, ki ima večjo maso, potrebuje manjšo hitrost za povečavo energije.

Energijo merimo v enakih enotah kot delo in sicer v J (Joule) oziroma Nm (newtonmeter). Energijo povečamo tako, da telesu dodamo delo. Končna kinetična energija je vsota začetne energije in vloženega dela.

IV.6. Potencialna energija

Spomnimo se, da prosto telo pod vplivom teže pada enakomerno pospešeno s težnim pospeškom (g). Hitrost med padanjem narašča, torej se povečuje tudi energija telesa. To povzroča teža telesa, ki med padanjem opravlja pozitivno delo. Energija telesa pa ni odvisna od poti, ki jo telo opravi, da pride do določene lege, ampak samo od višine na kateri obmiruje.

Potencialna energija telesa je odvisna od višine telesa. Če je telo majhno, je višina lahko izračunljiva, če pa je telo veliko se postavi vprašanje ali naj višino merimo od dna, vrha ali sredine telesa. V takih primerih si pomagamo s težiščem telesa.

Potencialna energija se izračuna po obrazcu:

$$W_p = m \cdot g \cdot h,$$

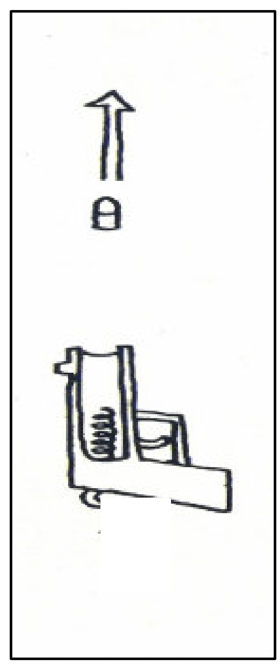
pri tem pa je:

m - masa *(kg)* , g - težnostni pospešek *(* $\frac{m}{s^2}$ *)* in h - višina dviga *(m).*

Tudi potencialno energijo merimo v enakih enotah kot delo, v Joule -ih.

IV.7. Prožnostna energija

Tudi za deformacijo telesa je potrebno delo. V kaj se to delo spremeni, je odvisno od vrste deformacije. Deformacija je lahko prožna (telo se po deformaciji vrne v prvotno stanje) ter plastično (telo se ne vrne v prvotno lego ali se vrne le deloma).



Prožno deformirano telo vrne celotno vloženo delo v obliki kinetične energije.

Če izračunamo delo, ki ga vložimo, da se prožna vzmet s konstanto prožnosti *k (* $\frac{N}{m}$ *)* raztegne ali skrči za *x (m),* je to delo enako spremembi prožnostne energije vzmeti.

Prožnostno energijo vzmeti v takem primeru izračunamo:

$$W_{pr} = \frac{kx^2}{2}\ .$$

Prožnostna energija vzmeti je premo sorazmerno s kvadratom raztezka ali skrčka (x) vzmeti. Vseeno je ali prožnostno energijo nalagamo v telo s krčenjem ali raztezanjem. Enota za merjenje prožnostne energije je Joule.

IV.8. Energijske spremembe

Energijo teles presojamo po tem, koliko dela lahko ta telesa opravijo in obratno: telesu se spremeni energija za toliko, kolikor dela prejme ali odda.

Izrek o kinetični energiji: delo rezultante zunanjih sil na telo je enaka spremembi kinetične energije telesa:

$$A = \Delta W_k$$
$$A = W_{k2} - W_{k1}$$

Izrek o kinetični in potencialni energiji: če poleg teže, ni zunanjih sil, ki bi opravljale delo, ostaja vsota kinetične in potencialne energije med gibanjem telesa konstantna. Če take sile med gibanjem so, je sprememba skupne energije enaka njihovemu delu:

$$A' = \Delta W_k + \Delta W_p$$

V razmerah kakršne so na Zemlji, ohranitve kinetične in potencialne energije čez daljše obdobje ni mogoče opazovati, lahko pa ju opazujemo v vesolju. Tako nas opazovanja prepričajo, da lahko v okviru dosegljive natančnosti trdimo, da je konstantna vsota kinetične in potencialne energije pri gibanju planetov okoli Sonca.

Izrek o ohranitvi mehanske energije: če poleg teže ni zunanjih sil, ki bi opravljale delo, ostaja vsota kinetične, potencialne in prožnostne energije telesa ali sistema teles konstnatna:

$$W = W_k + W_p + W_{pr} = konst.,$$

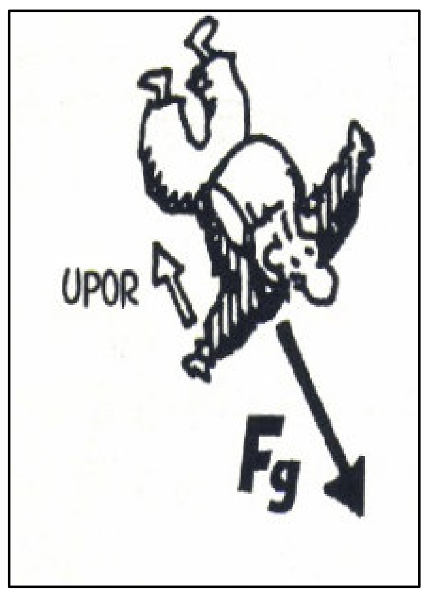
Če pa take sile so, je sprememba skupne energije enaka njihovemu delu:

$$\Delta W = W_k + W_p + W_{pr} = A'$$

Pravimo tudi, da se skupna energija ohranja.

IV. 9. Zračni upor

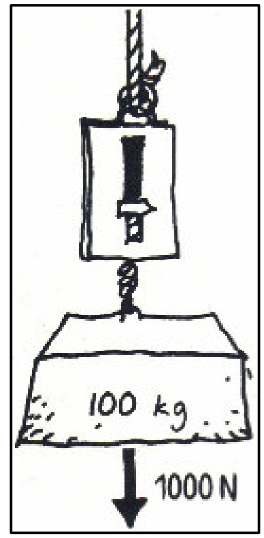
Sila zračnega upora nastane zaradi upora zraka na gibajoče telo. Sila deluje proti smeri gibanja, kar poemni, da jo uvrščamo med zaviralne sile.



Zračni upor je odvisen od uporovne površine telesa (največji prečni presek gibajočega telesa) in hitrosti gibanja. Poznamo lienerni in kvadratni zakon upora, pogosto pa se zgodi, da v praksi ne moremo uporabiti ne enega in ne drugega, ampak smo odvisni od tabel z izmerjenimi vrednostmi upora.

IV. 10. Merske napake

Vrednost fizikalnih količin izmerimo. Toda nobena meritev ni povsem natančna. Rezultat merjenja je negotov, kar izrazimo z mersko napako. Zaradi nenatančnosti ne moremo biti gotovi, da dobljeni rezultat predstavlja pravo vrednost merjene fizikalne količine. Zato meritev večkrat ponovimo. Običajno dobimo pri vsaki nadaljnji meritvi iste fizikalne količine nekoliko drugačen rezultat.



Oceno vrednosti merjenja fizikalne količine dobimo z izračunom povprečne vrednosti dobljenih merskih rezultatov, ki je aritmetična sredina posameznih merskih vrednosti. Dobljene vrednosti delimo s številom meritev (n):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + ... + x_n}{n}.$$

Izračunani povprečni vrednosti pripišemo (prištejemo in odštejemo) napako Δx, s katero povemo razpon možnih vrednosti okrog izračunane povprečne vrednosti. Merjena količina ima lahko katerokoli vrednost med $\bar{x} + \Delta x$ in $\bar{x} - \Delta x$, kar zapišemo:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x.$$

Dobljena napaka Δx se imenuje absolutna napaka.

Seveda pa ni pomembno le kakšna je negotovost meritve izražena v merskih enotah, ampak tudi razmerje med to napako in vrednostjo merjene količine.

To razmerje se imenuje relativna napaka in je določena s količnikom:

$$\frac{\Delta x}{x}.$$

Relativna napaka je število brez merske enote in jo pogosto izrazimo kar v odstotkih. Z njo izrazimo natančnost meritve; čim manjša je relativna napaka, tem natančnejša je meritev.

Vrednost izmerjene fizikalne količine zato pogosto zapišemo v obliki:

$$x = \overline{x} \pm \Delta x = \overline{x}\ (1 \pm \frac{\Delta x}{x}).$$

V. MERITVE IN IZRAČUNI

Lok

V nalogi sva pri meritvah uporabila lok za streljanje puščic, ki je pravzaprav otroška igrača.
Na lesenem ogrodju, ki nosi lok, je pritrjen prožni jekleni trak, nanj pa je na obeh koncih privezana neraztegljiva vrvica. Ko z roko potegnemo vrvico do lesene zareze na ogrodju in jo tam zagozdimo, se jekleni trak napne.

Slika 5: *Lok, ki sva ga uporabila v nalogi*

Ob pritisku na petelina se vrvica sprosti, prožnostna energija jeklenega traku pa se spremeni v kinetično energijo puščice, ki odleti z loka.

Merilne naprave

Pri merjenju sva uporabila več enostavnih merilnih pripomočkov:

- silomer (za merjenje sil),
- kotomer (za merjenje kotov),
- merilni trak (za merjenje razdalje),
- štoperico (za merjenje časa) in
- tehtnico (za merjenje mase).

Slika 6: *Merilni pripomočki*

V.1. Merjenje sil in računanje dela pri napenjaju loka

Merjenje sil

Slika 7: *Merjenje sile pri napenjanju loka*

Lokostrelec roko, ki drži tetivo, preprosto skrči, pri tem opravljeno delo pa poveča prožnostno energijo napetega loka. Ko se ta sprosti, se vložena prožnostna energija loka spremeni v kinetično energijo puščice, ki švigne z loka.

Na tisti kos vrvice, ki ga držimo, delujejo tri sile: sila roke (F_r), ter sili vrvice F_1 in F_2. Vse tri sile so v ravnovesju; torej je njihova vektorska vsota nič. Silo roke sva izmerila s pomočjo silomera, ki sva ga pripela za vrvico:

$$F = 25\,\mathrm{N} \quad (1 \pm 4\%),$$

sili v obeh delih vrvice pa sva dobila z risanjem, s pomočjo paralelogramskega pravila.

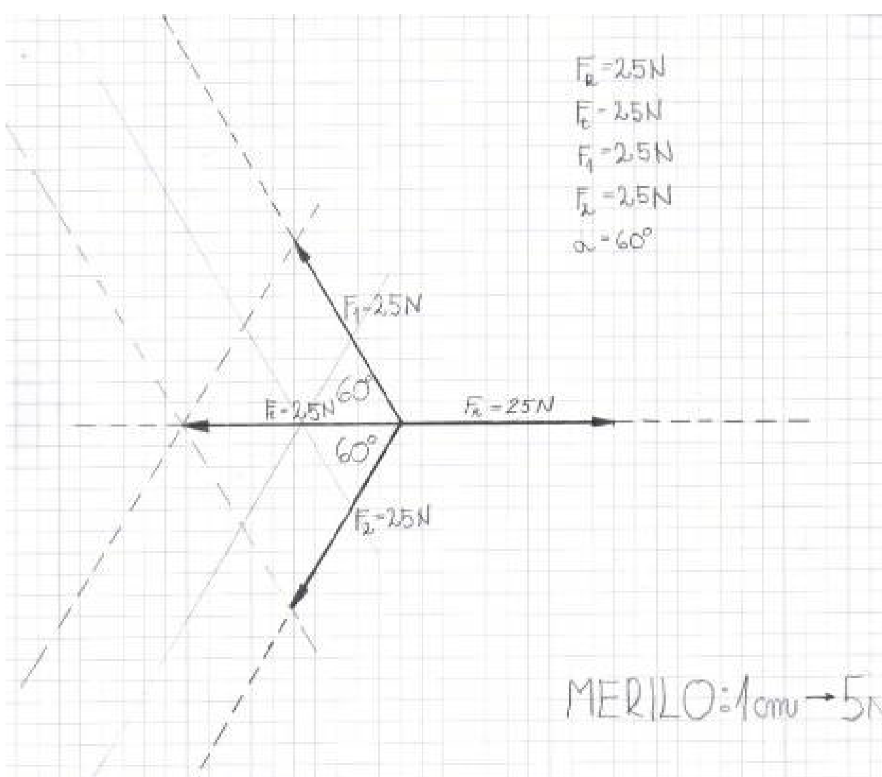
Dve stranici trikotnika in kot med njima so dani s silami F_1 in F_2. Izmerila sva kot med obema deloma vrvice, ki je seveda hkrati kot med silama F_1 in F_2:

$$\alpha = 60°.$$

Ti dve sili narišemo s puščicama in zaključimo s tretjo puščico, ki predstavlja iskano silo F_3. Z upoštevanjem merila risbe preberemo, da sta iskani sili v vrvicah:

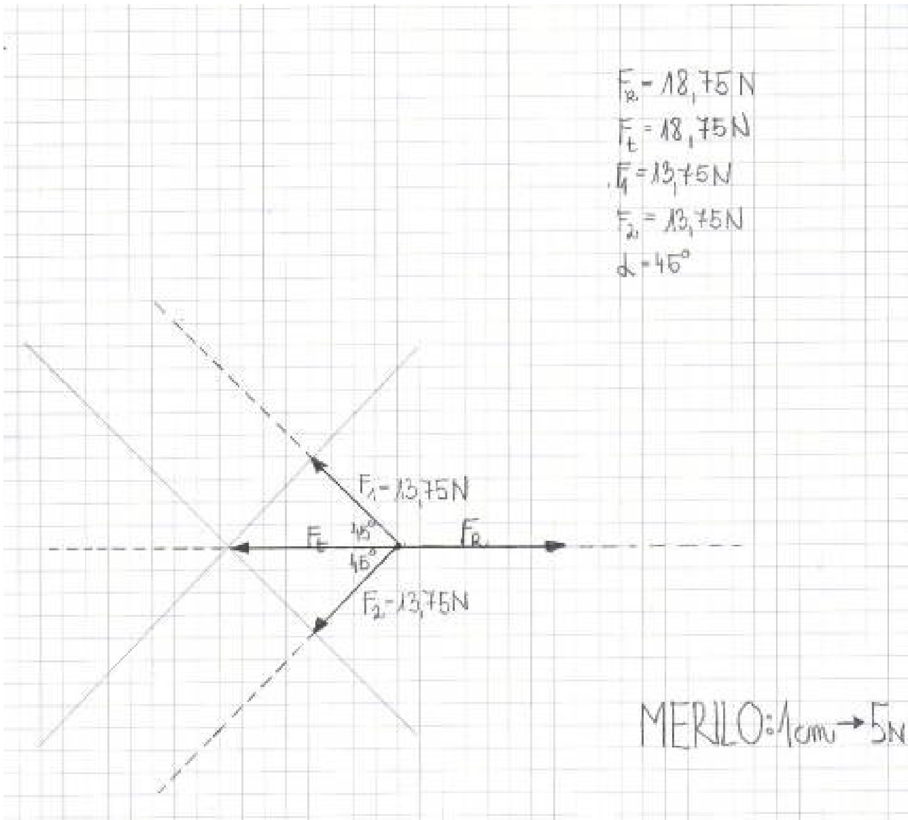
$$F_1 = 25\,N \quad \text{in} \quad F_1 = 25\,N.$$

Seveda sva takšen rezultat pri kotu $\alpha = 60°$ pričakovala, saj gre v tem primeru za enakostranični trikotnik.

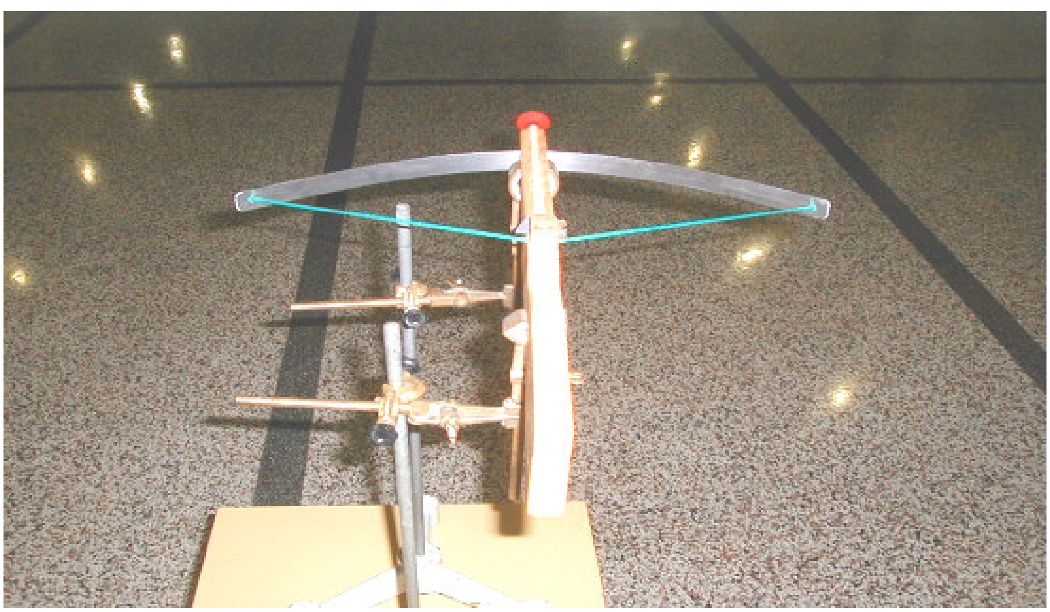


Slika 8: *Določanje sil v obeh delih tetive (vrvice) loka po paralelogramskem pravilu (60°)*

Seveda pa se sile med napenjanjem loka po velikosti in smeri spreminjajo:



Slika 9: *Določanje sil v obeh delih tetive (vrvice) loka po paralelogramskem pravilu (45°)*



Slika 10: *Merjenje sil in računanje dela pri napenjaju loka*

Ker se sila med napenjanjem loka enakomerno spreminja v odvisnosti od kota pod katerim sta napeta oba kraka vrvice oziroma od tega v kolikšni meri je lok že napet, pri delu upoštevamo povprečno silo napenjanja ($\overline{F}_r$):

$$\overline{F}_r = \frac{F_1 + F_2}{2}$$
$$\overline{F}_r = \frac{0\ \text{N} + 25\ \text{N}}{2}$$
$$\overline{F}_r = 12{,}5\ \text{N}\ (1 \pm 4\%)$$

To pomeni, da je povprečna sila roke med napenjanjem loka 12,5 N.

Kako izračunamo delo pri napenjanju loka?

Ko z roko potegnemo za vrvico (tetivo), opravimo delo, ki je premosorazmerno s povprečno silo napenjanja oziroma silo roke (F_r) in opravljeno potjo roke med napenjanjem loka (s).

$$\begin{array}{l} F_r = 12{,}5\ \text{N}\ \ (1 \pm 4\%) \\ s = 0{,}15\ \text{cm}\ \ (1 \pm 1{,}7\%) \\ \hline A = \end{array}$$

$$A = F \cdot s$$
$$A = 12{,}5\ \text{N} \cdot 0{,}15\ \text{m}$$
$$A = 1{,}875\ \text{Nm}$$
$$A = 1{,}88\ \text{J}\ (1 \pm 5{,}7\%)$$

Med napenjanjem loka sila roke opravi delo 1,88 J in za toliko se spremeni (poveča) prožnostna energija loka (W_{pr}).

V.2. Kinetična energija puščice

S pomočjo opravljenega dela pri napenjanju loka se poveča prožnostna energija loka, ki se po sprostitvi tetive spremeni v kinetično energijo puščice:

$$A = \Delta W_{pr} = \Delta W_k$$

***Slika 11:** Hitrost puščice ob izstrelitvi*

Enakost opravljenega dela in začetne kinetične energije puščice omogoča izračun začetne hitrosti puščice, to je hitrosti, ki jo ima puščica v trenutku, ko odleti iz loka:

$A = W_k = 1{,}88\ \mathrm{J}\ (1 \pm 5{,}7\ \%)$
$m = 0{,}0117\ \mathrm{kg}\ (1 \pm 0{,}3\ \%)$

---

v =

$$v = \sqrt{\frac{2W_k}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}88\ J}{0{,}0117\ kg}}$$

$$v = 17{,}9\ \frac{m}{s}\quad (1 \pm 3\ \%)$$

$$v = 64{,}4\ \frac{km}{h}\quad (1 \pm 3\ \%)$$

V trenutku, ko puščica odleti z loka ima hitrost 17,9 $\frac{m}{s}$ ali 64,4 $\frac{km}{h}$.

V.3. Energijski zakon

V nadaljevanju sva želela preveriti veljavnost energijskega zakona. Opazovano telo je puščica, ki prejme pozitivno delo tetive, med letom pa se prejeto delo spreminja v kinetično (potencialno) energijo puščice in v negativno delo sile zraka (zračni upor):

$$A_r = \Delta W_k + A_{z.}$$

Za izračun kinetične energije leteče puščice sva potrebovala še maso puščice, ki sva jo izmerila s pomočjo natančne laboratorijske elektronske tehtnice:

$$m = 0{,}0117 \text{ kg } (1 \pm 0{,}3\,\%).$$

Kinetično energijo puščice tik preden pade na tla sva izračunala s pomočjo izmerjene razdalje, ki jo preleti puščica izstreljena iz loka. Meritev razdalje, ki jo preleti puščica sva večkrat ponovila in uporabila povprečno izmerjeno vrednost:

$$s = 6{,}1 \text{ m } (1 \pm 0{,}8\%).$$

Čas leta puščice sva dobila tako, da sva s pomočjo enačbe za prosti pad izračunala čas padanja, ki je enak času leta puščice pri vodoravnem strelu:

h = 1,47 m (1 ± 0,7 %)

g = 9,8 $\frac{m}{s^2}$

---

t =

$$h = \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}47m\,(1 \pm 0{,}7\%)}{9{,}8\,\frac{m}{s^2}}}$$

$$t = 0{,}55s\,(1 \pm 0{,}4\,\%)$$

S pomočjo znane poti in časa sva izračunala hitrost izstreljene puščice v vodoravni smeri:

s = 6,1 m (1 ± 0,8 %)
t = 0,55 s (1± 0,4 %)

v =

$$v_x = \frac{s}{t}$$

$$v_x = \frac{6{,}1m \ (1 \pm 0{,}8\%)}{0{,}55 \ s \ (1 \pm 0{,}4\%)}$$

$$v_x = 11{,}1 \ m/s \ (1 \pm 1{,}2\%)$$

$$\mathrm{v_x} = 40 \frac{km}{h} \ (1 \pm 1{,}2\%)$$

Hitrost puščice v navpični smeri (y – smer) je hitrost, ki jo ima telo pri prostem padu:

t = 0,55 s (1± 0,4 %)
g = 9,8 $\frac{m}{s^2}$

v =

$$v_y = g \cdot t$$

$$v_y = 9{,}8 \frac{m}{s^2} \cdot 0{,}55 \ s$$

$$v_y = 5{,}39 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} (1 \pm 0{,}4\%)$$

$$\mathrm{v_y} = 19{,}4 \frac{km}{h} \ (1 \pm 0{,}4\%)$$

Hitrost puščice pri vodoravnem metu je vektorska vsota hitrosti v vodoravni smeri (x– smer) in v navpični smeri (y – smer):

$$v = \sqrt{{v_x}^2 + {v_y}^2}$$

$$v = \sqrt{\left(11{,}1 \frac{m}{s}\right)^2 + \left(5{,}39 \frac{m}{s}\right)^2}$$

$$v = 12{,}3 \frac{m}{s} \ (1 \pm 1{,}6\%)$$

$$\mathrm{v} = 44{,}3 \ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} \ (1 \pm 1{,}6\%)$$

V trenutku, ko puščica pade na tla ima hitrost 12,3 $\frac{m}{s}$ oziroma 44,3 $\frac{km}{h}$.

Kinetična energija izstreljene puščice je odvisna od hitrosti in mase puščice:

v = 12,3 $\frac{m}{s}$ (1 ± 1,6 %)
m = 0,0117 kg (1 ± 0,3 %)
W_k =

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$W_k = \frac{0{,}0117\ kg \cdot (12{,}3\frac{m}{s})^2}{2}$$

$$W_k = 0{,}86\ J\ (1 \pm 3{,}5\ \%)$$

Iz zakona o ohranitvi energije lahko ugotovimo velikost negativnega dela sile zraka (zračni upor) med letom puščice. Zaradi delovanja te zaviralne sile je let puščice krajši, kot bi bil sicer – denimo v brezzračnem prostoru:

$$A_r = \Delta W_k + A_z$$

$$1{,}88\,J = 0{,}86\,J + A_z$$

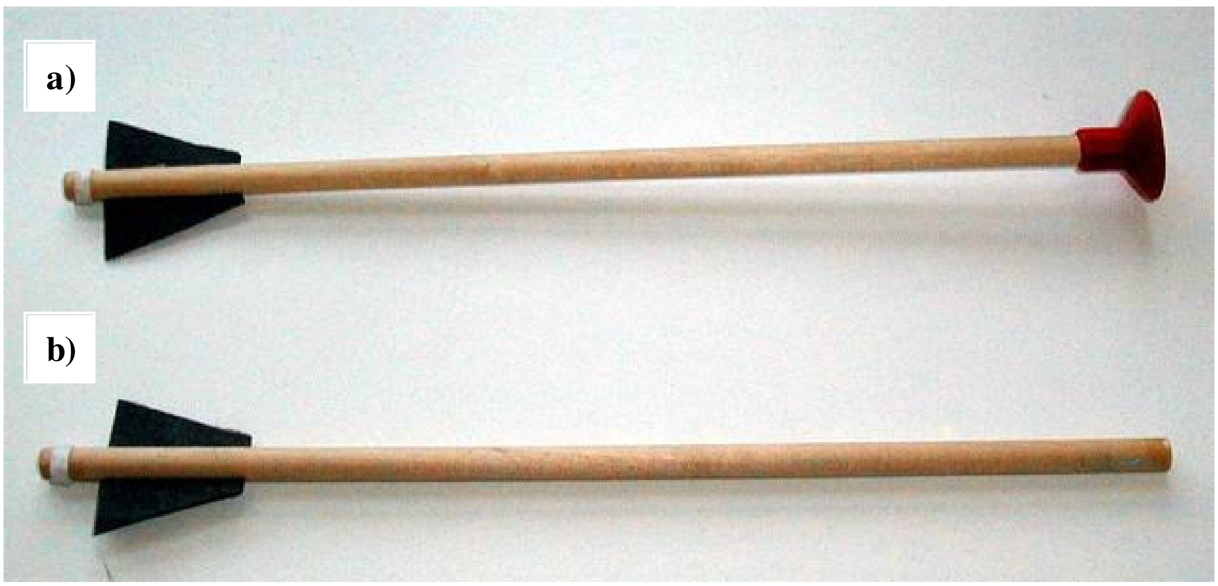
$$A_z = 1{,}88\,J - 0{,}86\,J$$

$$A_z = 1{,}02\,J\ (1 \pm 9{,}2\,\%)$$

Delo zaviralne sile, ki je v primeru leta puščice sila zračnega upora, meri 1,02 J. To pomeni, da v tem primeru zaviralna sila med letom puščice predstavlja približno 54 % dela, ki ga opravimo pri napenjanju loka. Delo zaviralnih sil si razlagamo kot energijsko izgubo, kar v našem primeru predstavlja 46 % izkoristek vloženega dela.

Dobljeni rezultat naju je sprva presenetil, saj je ugotovljeno delo sile zračnega upora (F_u) relativno veliko. Pojasnila sva ga z obliko puščice, ki ima zaradi svoje oblike (vbočena gumijasta podložka) večji koeficient upornosti, ki nastopa v kvadratnem zakonu zračnega upora:

$$F_u = k \cdot v^2.$$



Slika 11: *Puščici z različno aerodinamično obliko*

a) *puščica, ki ima na konici pritrjeno gumijasto podložko*

b) *puščica brez gumijaste podložke na konici*

Silo zračnega upora sva izračunala s pomočjo enačbe za delo:

$$A_u = F_u \cdot s$$

$$F_u = \frac{A_u}{s}$$

$$F_u = \frac{1{,}02\ J}{6{,}1\ \text{m}}$$

$$F_u = 0{,}17\ N\ (1 \pm 9{,}5\%)$$

Vpliv zračnega upora na hitrost gibanja puščice

V nadaljevanju naju je seveda zanimalo v kolikšni meri oblika puščice vpliva na zračni upor oziroma na hitrost puščice in s tem na razdaljo, ki jo puščica preleti. V ta namen sva eksperimet ponovila, le da sva tokrat iz puščice odstranila gumijasto podložko in s tem bistveno spremenila stično površino puščice (prečni prerez telesa) z zrakom med gibanjem. Tako sva seveda bistveno zmanjšala koeficent upornosti in silo zračnega upora.

Izmerila sva razdaljo, ki jo preleti puščica brez gumijaste podložke na konici:

$$s = 8{,}1\ \mathrm{m}\ (\ 1 \pm 0{,}6\%\ ).$$

Slika 12: *Merjenje razdalje, ki jo preleti puščica*

S pomočjo znane poti in časa sva izračunala hitrost izstreljene puščice v vodoravni smeri:

s = 8,1 m (1 ± 0,6 %)
t = 0,55 s (1± 0,4 %)

v =

$$v_x = \frac{s}{t}$$

$$v_x = \frac{8{,}1m\ (1 \pm 0{,}6\%)}{0{,}55\ s\ (1 \pm 0{,}4\%)}$$

$$v_x = 14{,}7\ m/s\ (1 \pm 1{,}0\ \%)$$

$$\mathrm{v_x} = 52{,}9\frac{km}{h}\ (1 \pm 1{,}0\ \%)$$

Končna hitrost puščice:

$$v = \sqrt{v_x{}^2 + v_y{}^2}$$

$$v = \sqrt{\left(14{,}7\frac{m}{s}\right)^2 + \left(5{,}39\frac{m}{s}\right)^2}$$

$$v = 15{,}7\frac{m}{s}\ (1 \pm 1{,}4\%)$$

$$\mathrm{v} = 56{,}5\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}\ (1 \pm 1{,}4\%)$$

Kinetična energija puščice ob koncu leta, tik preden udari ob tla:

v = 15,7 $\frac{m}{s}$ (1 ± 1,4 %)
m = 0,0117 kg (1 ± 0,3 %)

W_k =

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$W_k = \frac{0{,}0117\ kg \cdot (15{,}7\frac{m}{s})^2}{2}$$

$$W_k = 1{,}44\ J\ (1 \pm 3{,}1\ \%)$$

Iz zakona o ohranitvi energije sva lahko ugotovila velikost negativnega dela sile zraka (zračni upor) med letom puščice.

Energijski zakon omogoča izračun dela zaviralne sile zračnega upora:

$$A_r = \Delta W_k + A_z$$
$$1{,}88\,J = 0{,}44\,J + A_z$$
$$A_z = 1{,}88\,J - 1{,}44\,J$$
$$A_z = 0{,}44\,J \ (1 \pm 8{,}8\,\%)$$

Delo zaviralne sile zračnega upora pri puščici brez gumijaste podložke meri 0,44 J. Primerjava pokaže bistveno spremembo v primerjavi z rezultati, ki sva jih dobila za puščico z gumijasto podložko na konici, saj zdaj zaviralna sila med letom puščice predstavlja le še približno 23 % dela, ki ga opravimo pri napenjanju loka. Izkoristek predstavlja 77 % vloženega dela.

Izračun sile zračnega upora pričakovano pokaže manjšo vrednost:

$$A_u = F_u \cdot s$$
$$F_u = \frac{A_u}{s}$$
$$F_u = \frac{0{,}44\,J}{8{,}1\ \mathrm{m}}$$
$$F_u = 0{,}05\,N\,(1 \pm 9{,}1\,\%)$$

Seveda je pri profesionalnih puščicah, ki imajo izdelano aerodinamično obliko, zračni upor še manjši, posledično hitrost puščice večja in opravljena razdalja daljša.

V.4. Potencialna energija puščice

Pri navpičnem strelu navzgor se prožnostna energija loka ob izstrelitvi najprej spremeni v kinetično energijo puščice, ki pa med dviganjem postopno prehaja v potencialno energijo puščice. Ta je v trenutku, ko puščica odleti iz loka, najmanjša in se med dviganjem veča, na račun zmanjševanja kinetične energije.

a)

Višino leta puščice lahko izračunamo s pomočjo opravljenega dela pri napenjanju loka oziroma s pomočjo kinetične energije puščice.

$W_k = W_p = 1{,}88\ \mathrm{J}\ (1 \pm 3{,}5\ \%)$
$m = 0{,}0117\ \mathrm{kg}$
$g = 9{,}8\ \frac{m}{s^2}$

$h =$

$$W_p = m \cdot g \cdot h$$

$$h = \frac{W_p}{m \cdot g}$$

$$h = \frac{1{,}88\,J}{0{,}0117\,kg \cdot 9{,}8\frac{m}{s^2}}$$

$$h = 16{,}4\,m\,(1 \pm 3{,}8\ \%)$$

Izračun pokaže, da bi se morala po zakonu o ohranitvi energije puščica dvigniti 16,4 metra visoko. Domnevala sva, da se to seveda ne bo zgodilo, saj energjski izkoristek zaradi zračnega upora ni 100 %. Domnevo sva seveda preverila z merjenjem, tako da sva puščico z lokom izstrelila navpično navzgor.

b)

Višino navpičnega leta puščice sva ugotovila tudi s pomočjo merjenja časa, ki ga puščica potrebuje za to, da se dvigne do najvišje točke. Ta čas sva izmerila tako, da sva merila čas dviganja in spuščanja puščice in ga nato razpolovila.

Višino leta puščice sva nato izračunala iz enačbe prostega pada:

t = 1,22 s (1 ± 0,8 %)

g = $9{,}8\ \frac{m}{s^2}$

h =

$$h = \frac{g \cdot t^2}{2}$$

$$h = \frac{9{,}8\frac{m}{s^2} \cdot (1{,}22\,s)^2}{2}$$

$$h = 7{,}29\,m\,(1 \pm 1{,}6\,\%)$$

Merjenje časa in izračun višine pokaže, da se puščica pri navpičnem strelu z lokom v resnici dvigne približno 7,3 metra visoko.

Izkoristek opravljenega dela pri napenjanju loka in energije, ki jo ima puščica v trenutku, ko je v najvišji točki, lahko dobimo s pomočjo energijskega zakona ali pa kar z neposredno primerjavo višin:

$$\frac{W_p}{A_r} = \frac{m \cdot g \cdot h}{F_r \cdot s} = \frac{0{,}117\,kg \cdot 9{,}8\frac{m}{s^2} \cdot 7{,}29\,m}{1{,}88\,J} = 44{,}5\%\,(1 \pm 5{,}5\%)$$

Rezultat je primerljiv s tistim, ki sva ga dobila pri vodoravnem strelu, kjer je bil izkoristek opravljenega dela v primerjavi s končno kinetično energijo približno 54 %. Pričakovala sva, da bo vpliv zračnega upora pri navpičnem strelu navzgor še večji, saj je hitrost puščice med gibanjem nekoliko manjša kot pri vodoravnem strelu.

c)

Višino leta puščice lahko približno določimo tudi tako, da neposredno izmerimo višino leta. V naši nalogi sva to izvedla tako, da sva z lokom streljala navpično navzgor ob steni, na kateri so bile označene dolžinske enote.

Z nekaj spretnosti in z več ponovitavmi sva lahko odčitala približno višino, ki se v okviru natančnosti pri meritvah ujema z rezultatom, ki sva ga dobila s pomočjo merjenja časa padanja:

$$h = 7{,}2 \text{ m.}$$

Slika 13: *Navpični strel navzgor*

VI. ZAKLJUČEK

Presenečena sva bila, koliko fizikalnih enačb in znanja iz fizike sva lahko uporabila v nalogi. Vse količine, ki sva jih merila pri poskusih so bile enostavno merljive in so zahtevale enostavne merilne naprave, kot so meter, štoperica, tehtnica in silomer. Z uporabo loka sva dobila predstave o fizikalnih količinah, ki smo jih sicer pri fiziki pogosto računali, njihovo merjenje in preverjanje na praktičnem primeru uporabe loka pa je bila pomembna potrditev najinih teoretičnih predstav.

Meniva, da bi učencem v osnovni in srednji šoli lahko fiziko nazorno predstavili ob uporabi tako zanimivih pripomočkov, kot je denimo lok. Zdi se nama pomembno, da učenci pri pouku fizike sami preverijo veljavnost izpeljanih enačb in pri tem upoštevajo vse naravne zakonitosti. Pogosto se namreč dogaja, da pri pouku in tudi sicer pri reševanju nalog idealiziramo stanje in zanemarjamo vpliv nekaterih dejavnikov, kot sta naprimer trenje in zračni upor. V računskih nalogah v učbenikih pravzaprav praviloma piše: „Trenje in zračni upor lahko zanemarimo!“. Meniva, da učenci ravno zato pogosto nimajo pravih predstav o naravnih zakonitostih, ki se praviloma dogajajo ravno „z trenjem in zračnim uporom“.

Hipoteze, ki sva si jih zastavila pred izdelavo naloge so se v celoti potrdile, nekoliko naju je presenetil le vpliv sile zračnega upora na gibanje puščice. Sila zračnega upora oziroma negativno delo te zaviralne sile je bilo večje, kot sva pričakovala.

V okviru naloge sva s pomočjo merjenja sile pri napenjanju loka in načrtovanja sil z vektorji ugotovila kako se spreminjajo sile: od začetka, ko z roko začnemo vleči za srednji del tetive, pa do konca, ko je tetiva v skrajni legi. Sila roke se enakomerno zvezno spreminja od 0 N do 25 N, kar pomeni povprečno silo roke 12,5 N. To je sila, ki opravlja delo pri napenjanju loka.

S pomočjo paralelograma sil sva lahko določila sili v obeh delih tetive, za kar sva poleg sile roke v danem trenutku potrebovala še kot pod katerim sta v tistem trenutku napeljani vrvici. V nalogi sva grafično prikazala dva primera delovanja sil: v končnem položaju (60°) in v vmesni legi (45°).

Ugotovila sva, da je lok orodje, ki omogoča zelo natančno in enostavno merjenje sile s pomočjo silomera. S pomočjo sile roke in razdalje, ki jo roka opravi med napenjanjem loka, sva izračunala delo pri napenjanju loka, ki je bilo 1,88 J. Zaradi tega dela se poveča prožnostna energija loka, ki pa se v trenutku izstrelitve spremeni v kinetično energijo puščice.

Z uporabo enačbe za kinetično energijo in energijskega zakona, po katerem je opravljeno delo pri napenjanju loka enako spremembi prožnostne energije loka, ta pa spremembi kinetične energije puščice, sva izračunala hitrost puščice v trenutku, ko švigne iz loka. Ta hitrost znaša približno 18 m/s oziroma 64 km/h.

Seveda bi v brezzračnem prostoru puščica med letom vseskozi obdržala to hitrost, v resnici pa se zmanjšuje. Z izračunom in merjenjem sva raziskala koliki del opravljenega dela med napenjanjem loka se med letom puščice spremeni v negativno delo zaradi sile zračnega upora. To se seveda odraža v manjšem dometu puščice oziroma v manjši končni hitrosti v primerjavi z začetno hitrostjo puščice.

Ugotovila sva, da je pri puščici, ki ima na konici gumijasto podložko izkoristek na začetku vloženega dela in energije, ki jo ima puščica na koncu leta, približno 54 %. Poskus sva ponovila tako, da sva odstranila gumijasto podložko iz puščice in rezultat je pokazal, da je v takšnem primeru izkoristek vloženega dela bistveno večji, saj znaša približno 73 %.

Upravičeno domnevava, da bi z nadaljno izboljšavo aerodinamičnosti oblike puščice, kot jo imajo puščice pri profesionalnih lokih ter z večjo prožnostno energijo loka oziroma posledično z večjo hitrostjo puščice vpliv zračnega upora zmanjšali na velikost, ko bi bil zanemarljiv.

Raziskala sva tudi navpični strel puščice z lokom. Najina domneva, da bo vpliv zračnega upora še večji, kot pri vodoravnem strelu se je potrdila, saj je hitrost gibanja nekoliko manjša in posledično vpliv zaviralne sile zračnega upora ustrezno večji. Izkazalo se je, da se pri navpičnem strelu z lokom v potencialno energijo puščice spremeni le približno 44 % začetnega dela pri napenjanju loka. Preostali del se spremeni v negativno delo zaradi zaviralne sile zračnega upora.

Vsi rezultati, ki sva jih dobila, so podani z relativno napako zaradi napak pri merjenju in v okviru natančnosti meritev zadoščajo pogojem preverjanja hipotez.

Zagotovo bi lahko najino nalogo še nadgradila, saj sva ob prebiranju srednješolske literature ugotovila, da bi lahko pri loku izračunala še nekatere zanimive fizikalne količine, kot so prožnostni modul jeklenega traku, ki predstavlja ogrodje loka, ali denimo koeficient zračnega upora v okviru kvadratnega zakona upornosti. Preizkusila bi lahko tudi nekatere druge oblike gibanja, kot je denimo poševni met (strel).
Razen tega bi lahko poskusila izdelati bolj aerodinamičen model puščice, s katerim bi se približala idealnemu modelu, kjer bi lahko „zračni upor zanemarila“.

Z izdelavo naloge sva imela veliko dela, saj sva morala vse meritve večkrat ponavljati, da sva pridobila potrebne veščine pri rokovanju z lokom. Uporaba loka namreč zahteva nekaj spretnosti in koordinacije pri meritvah. Vendar nama je bilo izvajanje poskusov z lokom zelo zanimivo in zabavno. Vseskozi sva razmišljala o primerjavi rezultatov, ki sva jih dobila po teoretični poti s tistimi, ki sva jih izmerila v poskusih in to nama je razširilo pogled na mnoge fizikalne pojave.

VII. LITERATURA

1. Kladnik Rudolf,
FIZIKA 1: GIBANJE, SILA, SNOV, DZS Ljubljana, 1996

2. Kladnik Rudolf:
FIZIKA 2: ENERGIJA, TOPLOTA, ZVOK, SVETLOBA, DZS Ljubljana, 1996

3. B. Beznec, B. Černilec, T. Gulič, J. Lorger, D. Vončina:
MOJA PRVA FIZIKA 2, Založba MODRIJAN, 2005

4. I. Kuščer, A. Moljk:
FIZIKA 1.DEL, DZS Ljubljana, 1980

5. Hinko Šolinc,
SKOZI FIZIKO Z REŠENIMI NALOGAMI, DZS Ljubljana, 1995

6. Larry Gonick, Art Huffman:
FIZIKA V STRIPU, TZS Ljubljana, 2000

7. Keith Johnson:
FIZIKA – preproste razlage fizikalnih pojavov, TZS, Ljubljana, 1996

Slikovni material:

1. slika na naslovnici: Robin Hood (spomenik v spominskem parku v Nottingham-u):
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/Robin_Hood_Memorial.jpg/300px-Robin_Hood_Memorial.jpg

2. vse karikature v teoretičnem delu naloge so povzete iz knjige: Fizika v stripu (6).

3. fotografije poskusov z lokom sva naredila avtorja naloge s pomočjo šolskega digitalnega fotoaparata.