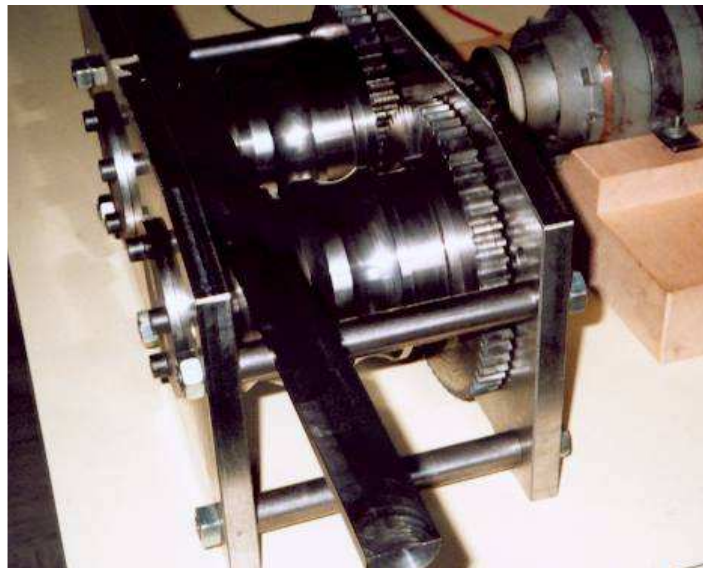


Šolski center Celje, Splošna in strokovna gimnazija Lava
Pot na Lavo 22

DUŠENJE TORNEGA HARMONIČNEGA OSCILATORJA

(RAZISKOVALNA NALOGA)



Avtorji:

Aljoša Selič
Blaž Tesovnik
Tone Potočnik

GL 3.A
GL 3.A
GL 3.E

Mentor:

Vitomir Babič, prof. fizike

Celje, marec 2002

KAZALO

I.	POVZETEK.....	3
II.	UVOD.....	4
III.	OPIS RAZISKOVALNEGA PROBLEMA.....	5
IV.	OPIS RAZISKOVALNIH METOD	8
V.	OSREDNJI DEL.....	10
VI.	RAZPRAVA	12
VII.	ZAKLJUČEK	12
VIII.	VIRI IN LITERATURA.....	13
IX.	ZAHVALA.....	13

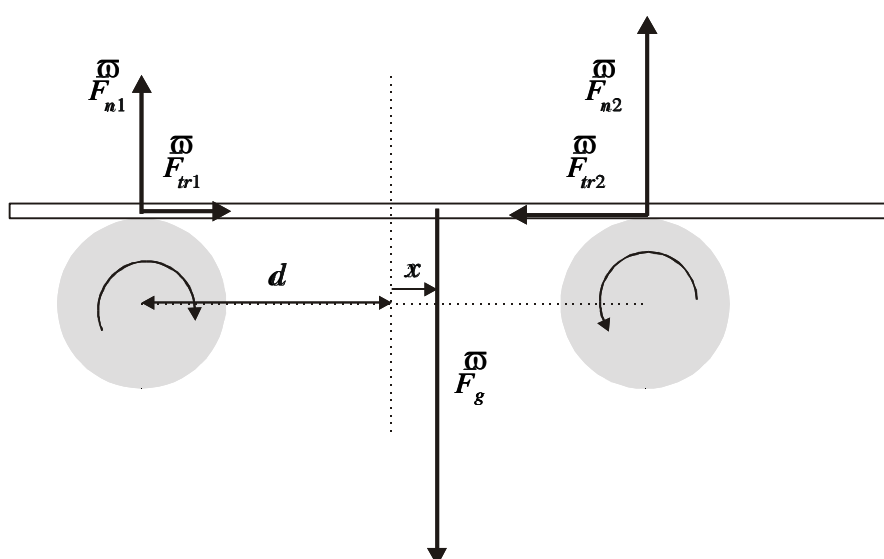
I. POVZETEK

V letu 1992 je skupina dijakov opravila raziskovalno nalogo, v kateri je obravnavala zanimiv način merjenja koeficienta trenja. Merjenec, ki ga položimo na dva nasproti vrteča se valja niha s frekvenco, ki je odvisna od koeficienta trenja. Z merjenjem frekvence nihanja lahko tako določamo velikost koeficienta trenja za različne vrste snovi. Pri nalogi se je pokazalo, da se amplituda nihanja s časom spreminja. Včasih se zmanjšuje, včasih povečuje, lahko pa ostaja tudi dalj časa enako velika. Vzrok za spreminjanje amplitude nihanja merjenca bi lahko poiskali v odvisnosti koeficienta trenja od hitrosti. Cilj naše naloge je bil preveriti hipotezo, po kateri je vzrok za pozitivno ali negativno dušenje amplitude nihanja merjenca odvisnost koeficienta trenja od hitrosti, s katero drsi merjenec po površini nasproti vrtečih se valjev.

II. UVOD

Skica prikazuje palico, ki je položena na dva nasproti si vrteča se valja. Če težišče palice ni natanko na sredi med valjema, palica zaniha z določeno frekvenco (Glej raziskovalno nalogo: **Torni harmonični oscilator: Robar Branko, Žagar Jasna, Kač Tadej, 1992**). Nihajni čas palice in koeficient trenja med stičnima ploskvama sta povezana po enačbi:

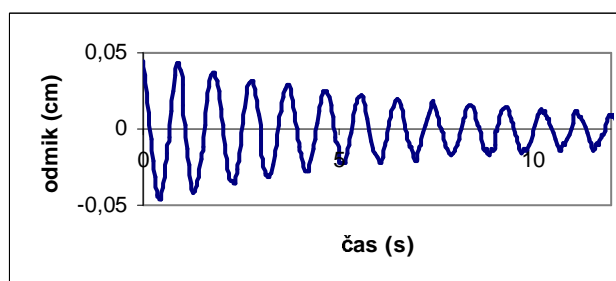
$$t_0 = 2p \sqrt{\frac{d}{g \times k_{tr}}} \quad \text{oziroma:} \quad k_{tr} = \frac{4p^2 d}{g}$$



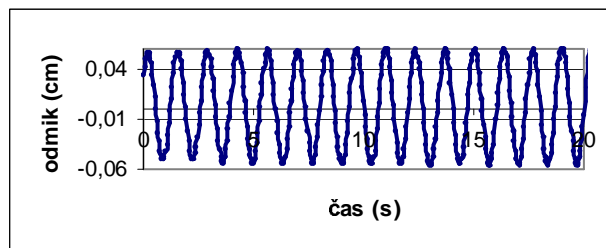
Slika 1: Torni harmonični oscilator. Skica k izpeljavi odvisnosti med nihajnim časom in koeficientom trenja.

Če posnamemo graf gibanja palice, lahko vidimo, da se amplituda nihanja merjencev lahko s časom spreminja:

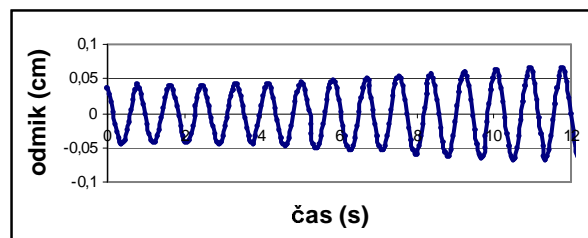
Graf gibanja šestkotne, težke kovinske palice iz nebrušenega železa pri majhni hitrosti drsenja (pod 1 m/s).



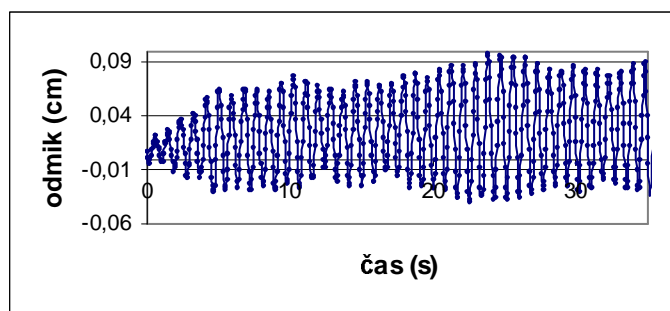
Graf gibanja okrogle, manjše in lažje palice iz kovinske zlitine neznan sestave pri hitrosti drsenja približno 1 m/s.



Graf gibanja za leseno, dobro zbrušeno hrastovo palico pri velikih hitrostih valjev (približno 5 m/s).



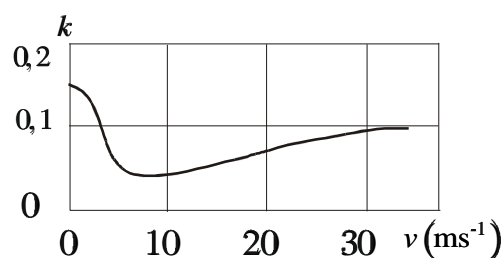
Grafi niso bili vedno povsem gladki in v skladu s pričakovanji. Primer zanimivega grafa je obnašanje lahke palice iz mehke kovine pri drsni hitrosti okrog 7 – 8 m/s. Graf nekoliko spominja na sestavljeno nihanje – utripanje. Na začetku je lepo vidna rast amplitude nihanja.



III. OPIS RAZISKOVALNEGA PROBLEMA

Naša hipoteza je, da lahko pojasnimo tovrstno spreminjanje amplitude z odvisnostjo koeficienta trenja od hitrosti, s katero drsita ploskvi stikajočih se teles drugo po drugi.

V literaturi (I.a.i.1) smo našli naslednji podatek o spreminjanju koeficienta trenja s hitrostjo:

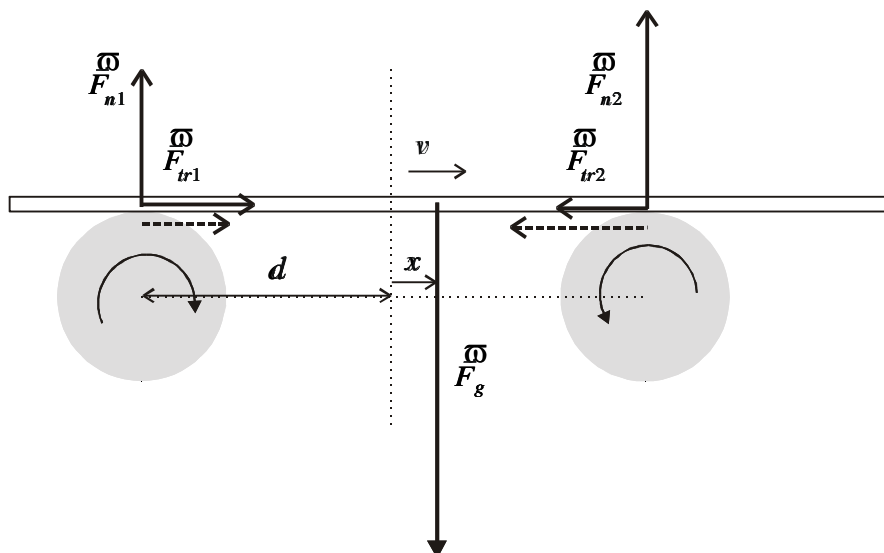


Slika 2: Odvisnost koeficienta trenja od hitrosti, povzeto po priročniku Koškin-Širkevič

Presenetilo nas je dejstvo, da se lahko koeficient trenja tako zelo spreminja s hitrostjo (tudi za 50% !). Pomislili smo, da bi se to utegnilo poznati pri gibanju palice na vrtečih se valjih (THO). Razmislek je potekal v naslednji smeri:

- Palica se med nihanjem enemu od valjev približuje, drugemu pa oddaljuje s hitrostjo, ki jo ima zaradi nihanja. Hitrost palice opišemo z enačbo: $v = v_A \cos \omega t$.
- Hitrost, s katero drsi palica po valju, ki se mu približuje je enaka $v_2 = v_0 + v$, po valju od katerega se palica oddaljuje pa drsi s hitrostjo $v_1 = v_0 - v$. Izraz v_0 predstavlja hitrost vrtenja valjev: $v_0 = 2pr \times n_{\text{valjev}}$
- Če je koeficient trenja odvisen od hitrosti, je treba model THO popraviti tako, da bo upoštevana razlika med koeficientoma trenja na levem in desnem valju.

Popravljeni model THO prikazuje skica2:



Slika 3: Popravljeni model THO. Palica se približuje desnemu valju (2). S črtkano črto sta narisani sili trenja, kot ju predpostavlja osnovni model, v katerem je koeficient trenja neodvisen od hitrosti.

Predpostavimo, da se koeficient trenja z naraščajočo hitrostjo linearno zmanjšuje. Če je koeficient trenja pri hitrosti valjev (v_0) enak k_0 , je koeficient na desnem valju enak: $k_2 = k_0 - av$, na levem valju pa : $k_1 = k_0 + av$. Sila trenja med palico in desnim valjem, ki potiska palico nazaj proti ravnovesni legi, je torej malo manjša, kot bi bilo potrebno za ohranjanje amplitude nihanja, sila na levem valju, ki potiska palico proč od ravnovesja, pa nekoliko večja. Amplitudo nihanja palice povečuje rezultanta sil, ki je sorazmerna s hitrostjo palice ($Dk = 2av$). Če to drži, se mora amplituda nihanja palice sčasoma povečevati vse dotlej, dokler palica ne pade iz vrtečih se valjev.

Če pa predpostavimo, da koeficient trenja s hitrostjo raste, dobimo zrcalno sliko pojava.

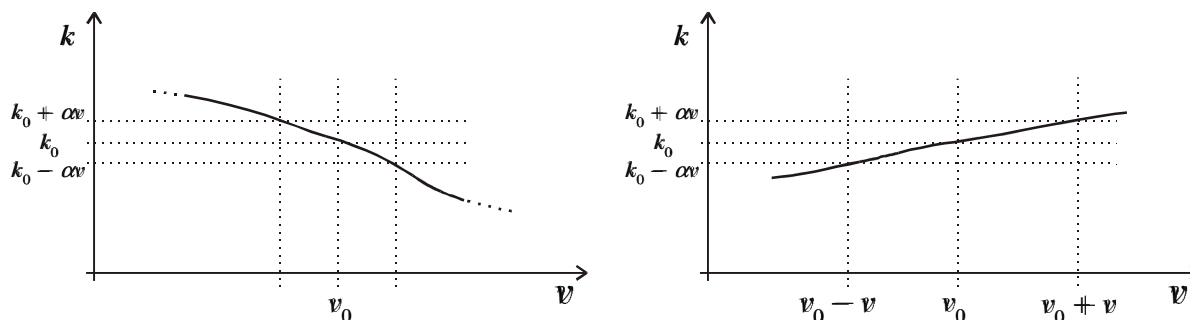
Takrat je koeficient na desnem valju enak: $k_2 = k_0 + av$, na levem valju pa: $k_1 = k_0 - av$. Sila trenja med palico in desnim valjem, ki potiska palico nazaj proti ravnovesni legi, je torej malo večja, kot bi bilo potrebno za ohranjanje amplitude nihanja, sila na levem valju, ki potiska palico proč od ravnovesja, pa nekoliko manjša. Amplitudo nihanja palice duši rezultanta sil, ki je sorazmerna s hitrostjo palice ($Dk = 2av$). Opis takega primera smo našli v literaturi (I.a.i.4 in I.a.i.1). Tu smo našli tudi povezavo med koeficientom dušenja in silo, ki zavira nihalo. Avtor navaja rešitev, v kateri se amplituda nihanja zmanjšuje s časom po enačbi:

$$s_0 = A e^{-bt}$$

V tej enačbi je A začetna amplituda nihanja, b pa je koeficient dušenja. Mentor nam je razložil, da je koeficient dušenja obratna vrednost tistega časa, v katerem pade amplituda nihala na približno 37% začetne vrednosti (A). Zaradi podobnosti našega primera s primerom, ki ga obravnavata avtorja, smo sklepali, da mora veljati povezava: $b = \frac{ag}{2}$. Tako se je odprla možnost, da bi z merjenjem

karakterističnega časa dušenja ($t = \frac{1}{b}$) določali, za koliko se spreminja koeficient trenja na enoto

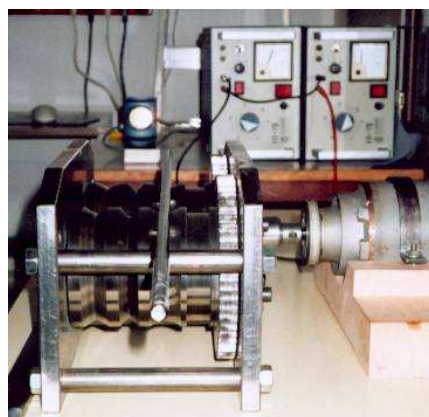
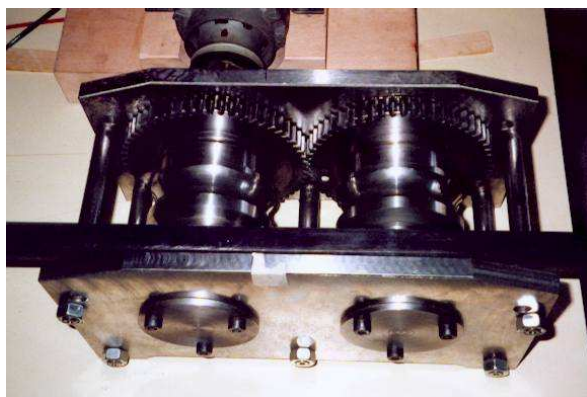
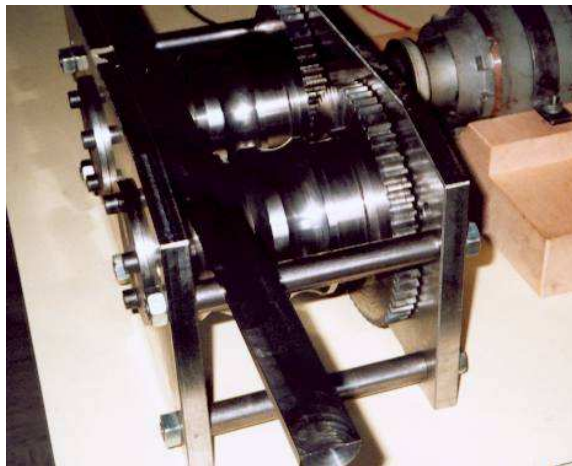
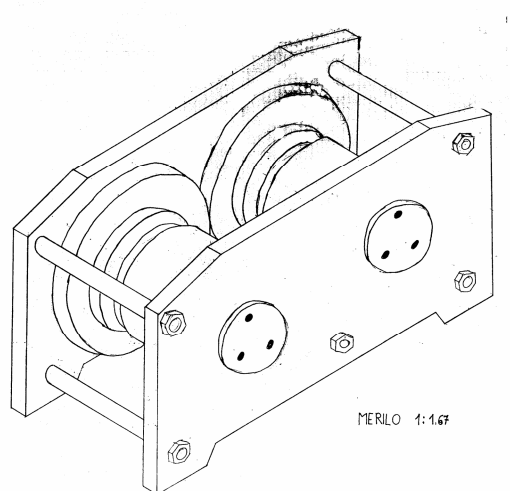
hitrosti ($a = \frac{Dk}{Dv}$). Če koeficient trenja s hitrostjo raste, je nihanje dušeno in iz karakterističnega časa dušenja lahko napovemo, za koliko se bo koeficient trenja spremenil. Napovedano spremembo preverimo tako, da izmerimo koeficient trenja pri povečani hitrosti valjev. To smo skušali preveriti z eksperimentom.



Slika 4: K sklepanju o možnih vzrokih za pozitivno in negativno dušenje THO.

IV. OPIS RAZISKOVALNIH METOD

Hipotezo smo preverjali z izvajanjem poskusov. V ta namen smo sestavili pripravo, ki jo prikazujeta skica in fotografiji.



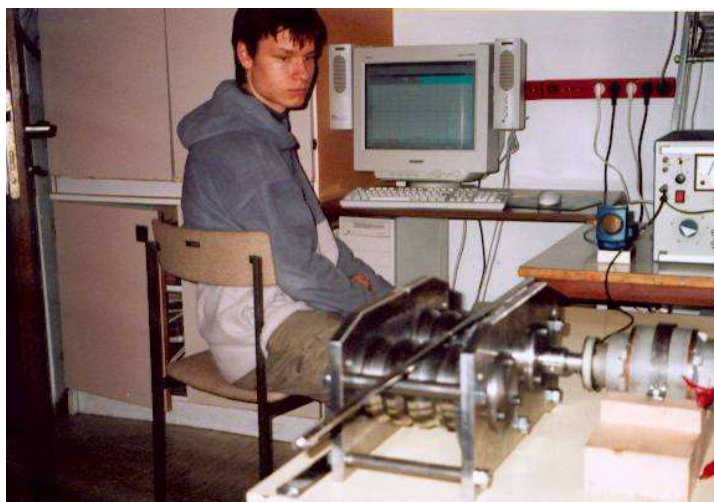
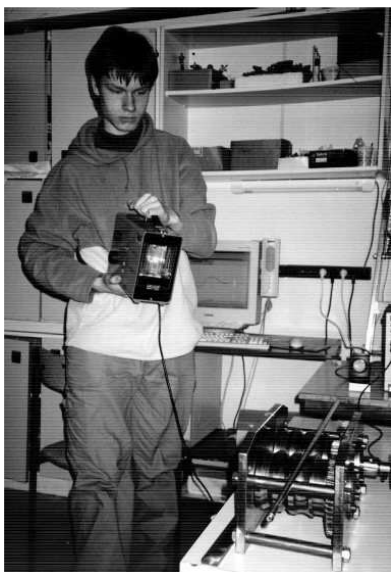
Slika 5: Torni harmonični oscilator. Strojniška shema in fotografije končnega izdelka, narejenega v delavnicah Šolskega Centra Celje.

Valja sta narejena iz brušenega jekla. Obseg valjev je 30 cm, medosna razdalja pa 15 cm. V površino valjev so vrezani (brušeni) utori trikotnega, pravokotnega in paraboličnega profila. V utore smo polagali merjence – palice trikotnega profila in okrogle palice, ki smo jih postavljali na različne utore. Za pogon valjev se uporablja elektromotor na enosmerni tok, ki ga zagotavljata dva malonapetostna tokovna napajalnika. Hitrost vrtenja motorja smo spreminjali z spreminjanjem napetosti na usmernikih.

Pri meritvah smo uporabili palice iz lesa in jeklene palice.

Hitrost vrtenja valjev smo določali s pomočjo stroboskopskega merilnika vrtljajev. Graf gibanja palice smo posneli z radarjem – ultrazvočnim sledilnikom gibanja, ki ga preko merilno – krmilnega sistema CMC2 priključimo na računalnik. Rezultate merjenja odmika palice v odvisnosti od časa smo hranili v tabeli, ki jo je bilo možno prenašati v druge programe (EXCEL, ipd.) ter poljubno obdelati.

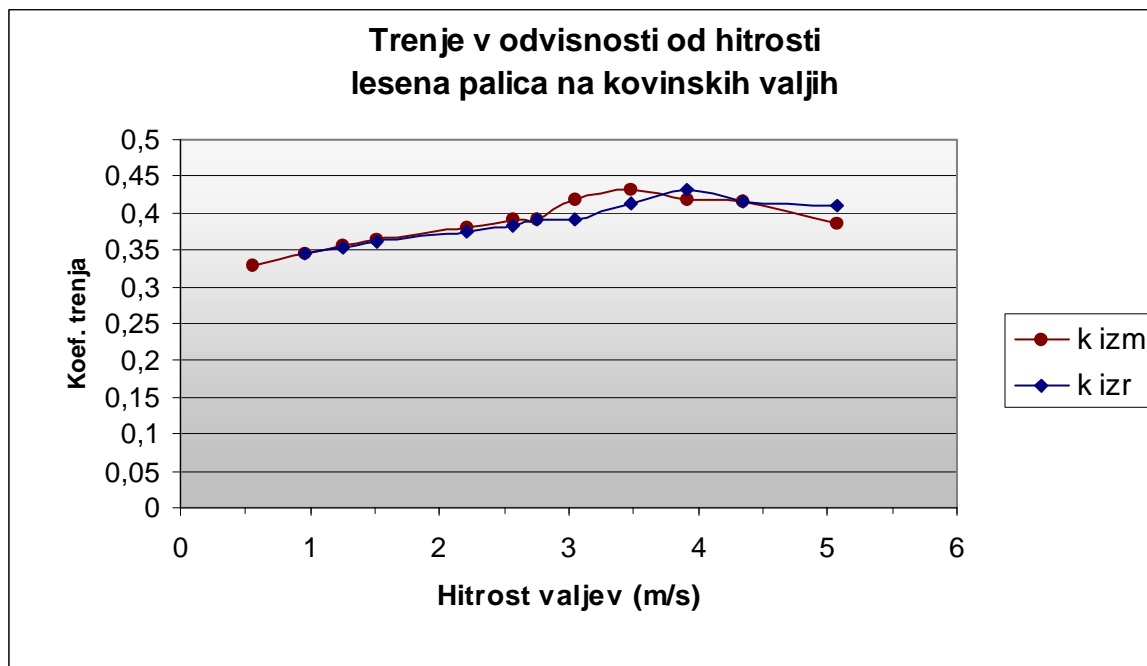
Iz tabele, ki predstavlja graf gibanja, smo odčitali nihajni čas palice in karakteristični čas dušenja. V ta namen je Tone izdelal poseben programček z imenom TWISTER, lahko pa bi merili tudi ročno na natisnjenih grafih.



Slika 6: Tone med merjenjem frekvence vrtljajev valjev in med računalniškim zajemanjem podatkov.

V. OSREDNJI DEL

V tem delu predstavljamo rezultate meritev. V nekaterih primerih je ujemanje med izmerjenimi koeficienti trenja pri različnih hitrostih in izračunanimi vrednostmi, ki jih dobimo z upoštevanjem našega teoretičnega modela, skoraj popolno. Tak primer je naslednji:

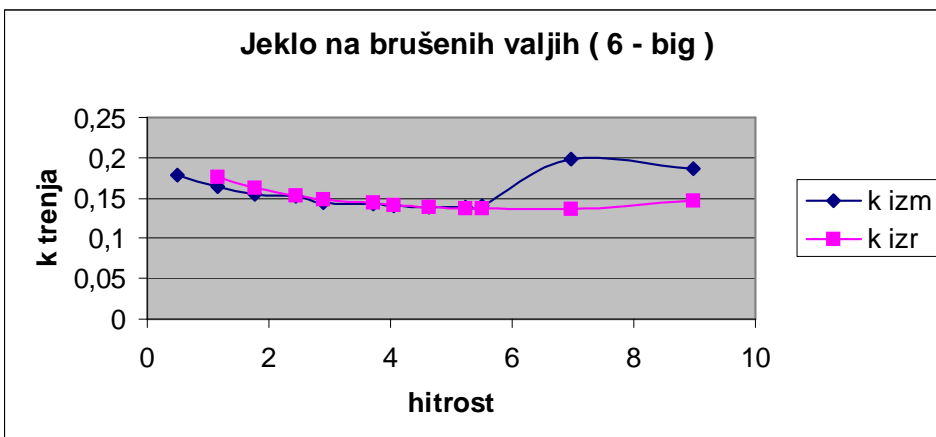
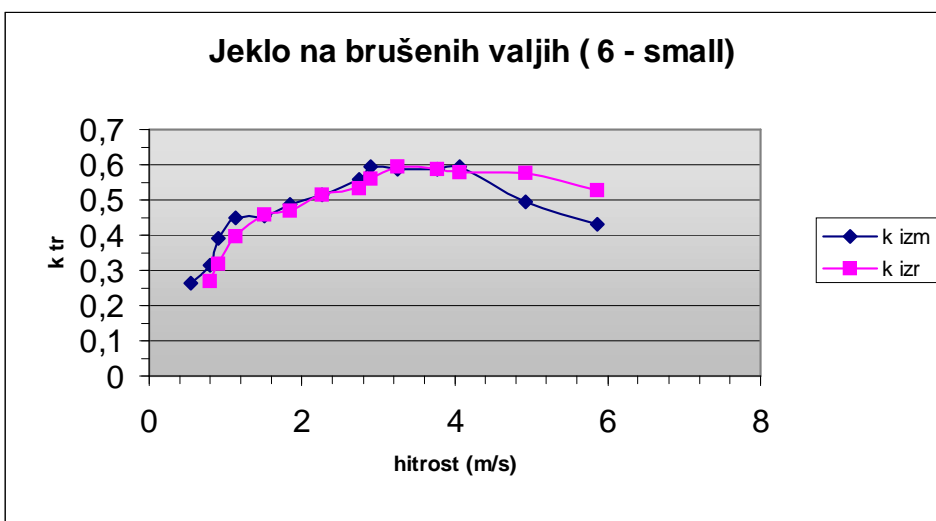
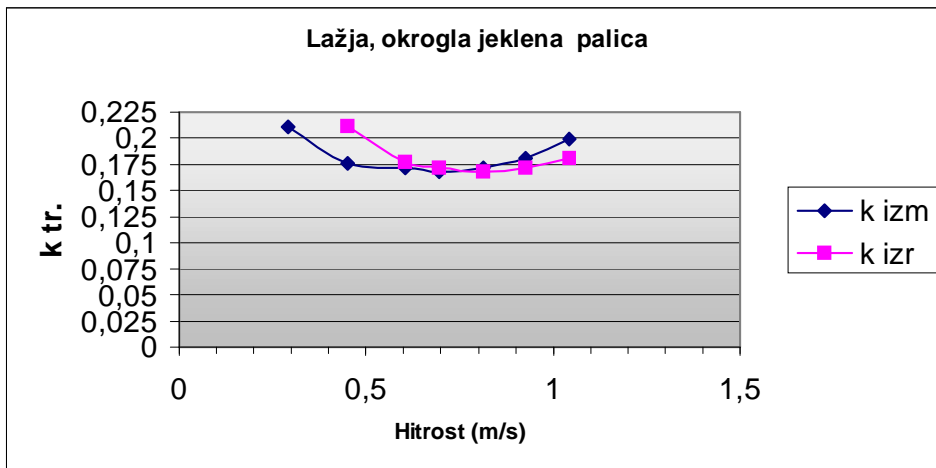


Graf vsebuje vrednosti za koeficient trenja (k_{izm}), ki jih dobimo iz izmerjene frekvence nihanja palice (enačba 1). Iz meritve koeficienta trenja pri neki hitrosti določimo koeficient trenja pri povečani hitrosti tako, da izmerimo karakteristični čas dušenja ter k izmerjenemu koeficientu trenja prištejemo popravek:

$$K(\alpha) = \pm \frac{2}{tg} \times 2prDn \quad \text{Sledi: } k_{izr.}(v_0 + Dv) = k_{izm.}(v_0) + K(\alpha)$$

Če se amplituda zmanjšuje, je popravek pozitiven, sicer je negativen.

Pri kovinskih palicah smo dobili naslednje rezultate:



VI. RAZPRAVA

Pri merjenju s kovinskimi merjenci smo naleteli na številne težave. To se lepo vidi pri rezultatih, saj grafi niso tako gladki, kot smo jih uspeli dobiti pri leseni palici. Že na začetku smo videli, da je velika, 6 – kotna jeklena palica s svojo veliko težo močno upočasnila hitrost motorja. To smo popravljali z vzporedno vezavo dveh usmernikov, ki sta zagotavljala povečan tok v elektromotor, a moč motorja je bila kljub temu še vedno premajhna. Opazili smo tudi, da se frekvenca valjev med merjenjem nekoliko spreminja.

Pri mali 6 – kotni jekleni palici je prišlo celo do brušenja palice in profila na valjih. Zaradi tega se je kvaliteta stičnih ploskev med merjenjem bistveno spremenila. To je vzrok za nepredvidljivo obnašanje palice.

Pri velikih frekvencah (nad 15 Hz) vrtenja valjev je sistem vidno vibriral. Gotovo je merjenec zaradi tega na valjih nekoliko poskakoval, kar je najbrž vplivalo na njegovo gibanje v prečni smeri.

Čeprav smo se pri izdelavi sistema zelo potrudili, je vsako meritev (še posebej pri velikih frekvencah) spremljal močan hrup, ki ga je bilo težko prenašati.

Zanimivo je bilo, da smo kar nekajkrat opazili grafe, ki so spominjali na utripanje pri nihanju. Morda bi kazalo ta pojav podrobneje raziskati.

VII. ZAKLJUČEK

Po opravljeni nalogi smo mnenja, da je hipoteza v okviru natančnosti pri merjenju potrjena.

Odstopanja od hipoteze bi želeli preveriti z še izboljšanim sistemom (prestavni prenos moči za stabilizacijo frekvenca, blaženje za zmanjšanje vibracij,....)

Med izvajanjem raziskave smo se naučili zelo veliko. Predvsem to, da je proces prenašanja na papirju zapisane ideje na papir v primerjavi z dejansko uresničitvijo projekta dolga in naporna, zaradi malenkosti včasih tudi zoprna pot. Ker smo projekt zares ustvarili (pa čeprav je Aljoša moral z 10 – urnim ročnim finim brušenjem odpravljati napake na zobnikih), smo na rezultat še toliko bolj ponosni. Za nami je bogata izkušnja, ki je ne bi nikoli doživeli, če bi se odločili, da bi šolski čas preživali samo s posedanjem po učilnicah in poslušanjem modrecev.

VIII. VIRI IN LITERATURA

1. Priročnik elementarne fizike, N.I.Koškin – M.G.Širkevič, TZS Ljubljana 1990;
2. Energija – učbenik za fiziko II del, R. Kladnik;
3. Električna, - učbenik za fiziko II. Del, M. Hribar in sodelavci
4. Fizika – prvi del, visokošolski učbenik, J. Strnad;

IX. ZAHVALA

Hvaležni smo vsem, ki so kakorkoli pripomogli k temu da je naše raziskovalno delo dokončano, še posebej pa bi se radi zahvalili:

- našemu mentorju, gospodu Vitomirju Babiču, prof., ki je s svojim odličnim znanjem pripomogel zelo veliko in nas tolažil v trenutkih obupanosti: »Narava nikoli ne laže.....«
- gospodu vodji strojnih delavnic, Martinu Derstvenšku, univ. dipl.ing., ki je omogočil izdelavo tornega oscilatorja,
- delavcem v delavnicah za praktični pouk,
- gospodu Branku Gračnerju, ki nam je posodil elektromotor,
- gospodu Rajku Seliču, ki je pomagal svojemu sinu Aljoši izrisati načrt, za izdelavo podstavka za elektromotor ter za svetovanja,
- gospodu laborantu za fiziko, Par Gvidu, dipl. ing., ki je pomagal s svojimi nasveti;