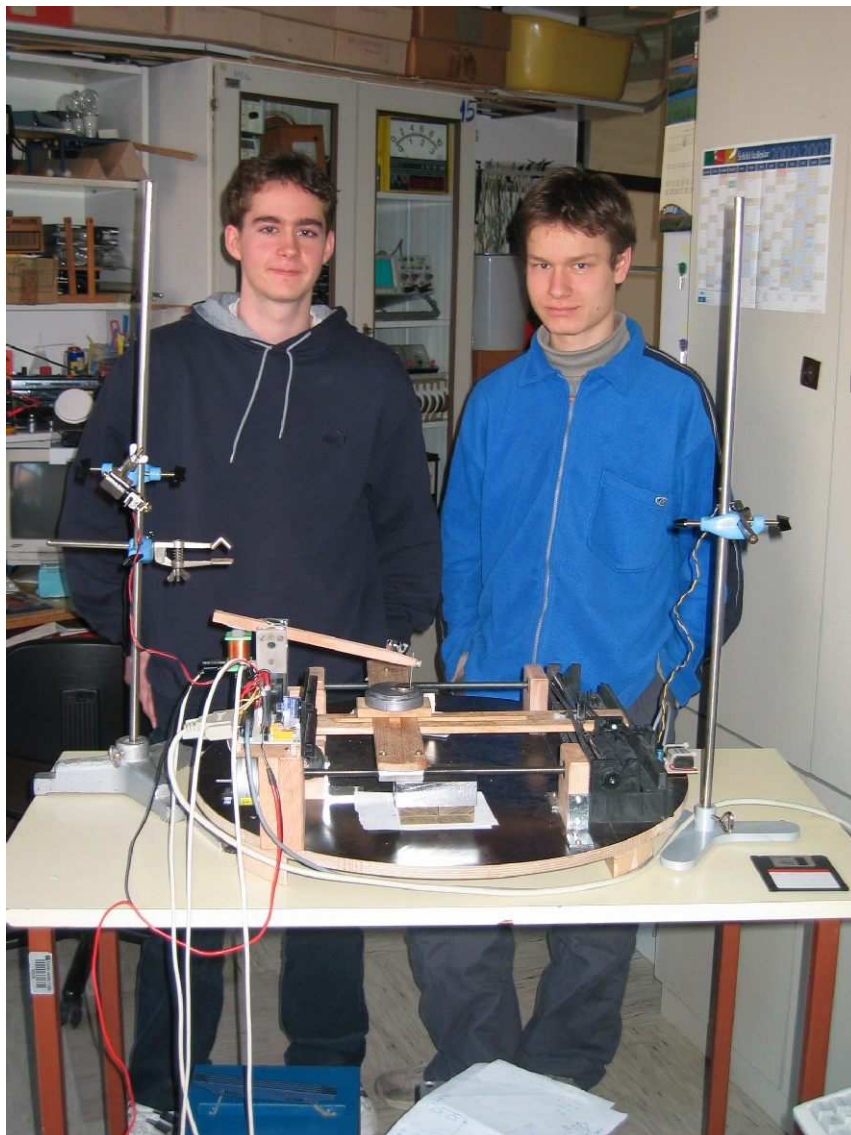




Šolski center Celje,
Splošna in strokovna gimnazija Lava
Pot na Lavo 22

MODEL MIKROSKOPA NA ATOMSKO SILO (RAZISKOVALNA NALOGA)



Mentorja:

Vitimir BABIČ, prof. fizike
Rajko SELIČ

Avtorja:

Anton POTOČNIK, GL 4.E
Aljoša SELIČ, GL 4.A

Celje, marec 2003

KAZALO

I. POVZETEK	4
II. UVOD	5
III. OPIS RAZISKOVALNEGA PROBLEMA.....	6
IV. OPIS RAZISKOVALNEGA DELA	7
1. Izdelava mehanskih sklopov	7
2. Krmiljenje koračnih motorjev	9
3. Svetlobni senzor	11
4. Obdelava in prikaz podatkov	12
V. OSREDNJI DEL	14
VI. RAZPRAVA	17
VII. ZAKLJUČEK.....	18
VIII. VIRI	19
IX. ZAHVALA	19

Kazalo slik

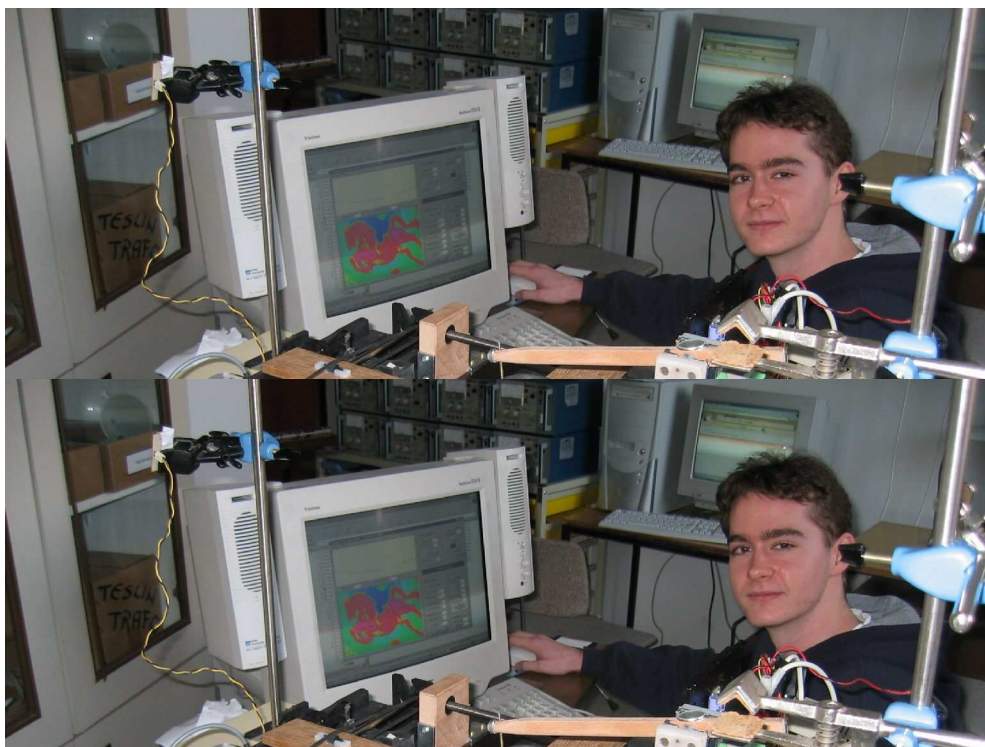
Slika 1: Aljoša pri delu.....	4
Slika 2: Tone pri delu.....	5
Slika 3: Shematski prikaz načina merjenja.	6
Slika 4: Shema merilne mizice.	7
Slika 5: Shema tipala.	8
Slika 6: Fotografija merilne palice.	9
Slika 7: Bi-polaren koračni motor.	9
Slika 8: Uni-polaren koračni motor.	9
Slika 9: Vezje za krmiljenje bi-polarnega koračnega motorja.	10
Slika 10: Shema celotnega vezja.	11
Slika 12: Primer meritve na ravni mizici. Jasno je razvidno nihanje navojnih palic, ki premikajo vodila mizice. Napako sva kasneje odpravila.	13
Slika 14: Merilni sistem pripravljen za merjenje.....	14
Slika 15: Ena prvih meritev je bila številka na kovancu za en slovenski tolar.	15
Slika 16: Sčasoma smo napredovali - slika kovanca za deset slovenskih tolarjev.....	15
Slika 17: Ena boljših meritev - konjiček na hrbtni strani kovanca za deset slovenskih tolarjev.....	16
Slika 18: Na koncu pa še kovanec za 2 eura	16

I. POVZETEK

Raziskovalna naloga »MODEL MIKROSKOPA NA ATOMSKO SILO« ima za cilj ustvariti delujoč model mikroskopov, s katerimi lahko merimo izredno fine reliefne strukture površin vzorcev. Ob dobri izdelavi se lahko posreči celo ločljivost, s katero »vidimo« molekule površinskega sloja kristalov.

Mikroskop na atomsko silo (v nadaljevanju AFM) je v nalogi predstavljen z mehanskim modelom, ki kontrolirano premika vzorec in sledi premiku merilne sonde z veliko natančnostjo. Premik sonde zazna občutljivi sistem dveh fotodiod kot razliko napetosti na posameznih fotodiodah. Napetostni signal se digitalno obdela in analizira s pomočjo avtorskega računalniškega programa, ki je sestavni del naloge.

Izdelava modela in programske opreme sta potekala več mesecev. Ob koncu marca je model že solidno deloval. Rezultati nekaterih poskusnih meritev so predstavljeni v tej raziskovalni nalogi.



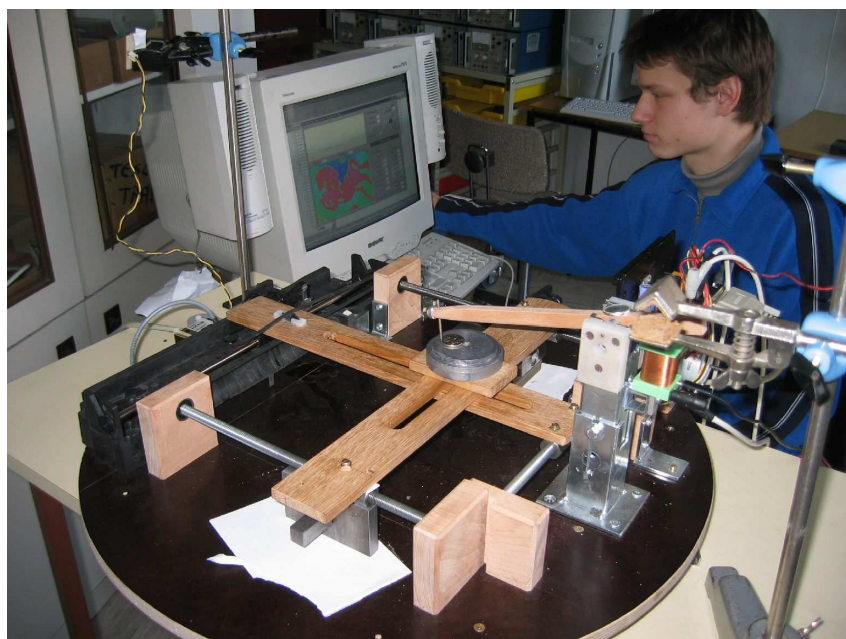
Slika 1: Aljoša pri delu.

II. UVOD

Idejo za najino ustvarjalno delo sva dobila v reviji, ki je namenjena fizikalni stroki »The Physics Teacher«. Na članek naju je opozoril profesor fizike. Takoj, ko sva ga prebrala, sva se odločila - eden se je zaljubil v preprostost električnih vezij, drugega pa je prevzela učinkovitost nezahtevne naprave, in vse je bilo videti tako preprosto ...

V projektu, ki je trajal dobrih šest mesecev, sva poskušala narediti kar najboljši model mikroskopa na atomsko silo – AFM (Atomic Force Microscope). Po trnju do zvezd, ali bolje rečeno - k uspehu. Tako bi lahko označili tudi najino pot od kopice bolj ali manj uresničljivih idej, obilice samozavesti in dveh neuporabnih tiskalnikov, do dovolj natančno delujoče strojne opreme, zanesljivega računalniškega programa in predvsem do uporabnih meritev. Ker je bil najin cilj izdelati dobro merilno napravo so »raziskovalne metode« prehajale od čistega strojniško-mizarskega dela (izdelava gonilnega mehanizma), preko igranja z električnimi vezji, do dolgotrajnega sestavljanja in popravljanja programske opreme, opravljeni preizkus merilnega sistema in meritve z njim pa so nama bile pravzaprav nagrada za trud, ki sva ga v to nalogo vlagala več mesecev.

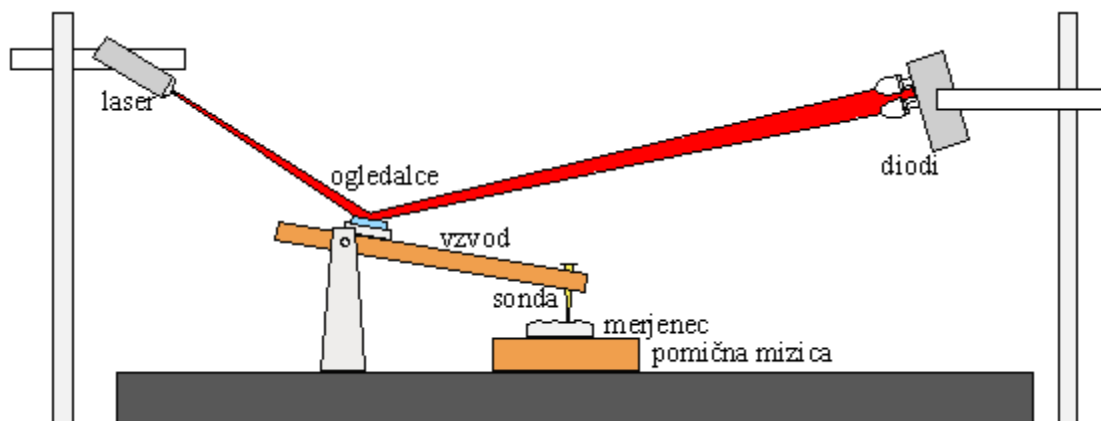
Misliva, da sva (upoštevajoč sredstva, predvsem pa čas, ki nama je bil na voljo), izdelala dober merilni sistem (tako strojno kot programsko), ki zazna že nekaj stotin milimetra velike spremembe reliefa, jih pretvori v digitalno obliko in omogoči nazorno računalniško predstavitev in nadaljnjo obdelavo.



Slika 2: Tone pri delu.

III. OPIS RAZISKOVALNEGA PROBLEMA

Osnovno idejo za izdelavo modela AFM sva dobila v literaturi¹. V grobem je model predstavljen na spodnji shemi:



Slika 3: Shematski prikaz načina merjenja.

Ideja meritve je naslednja:

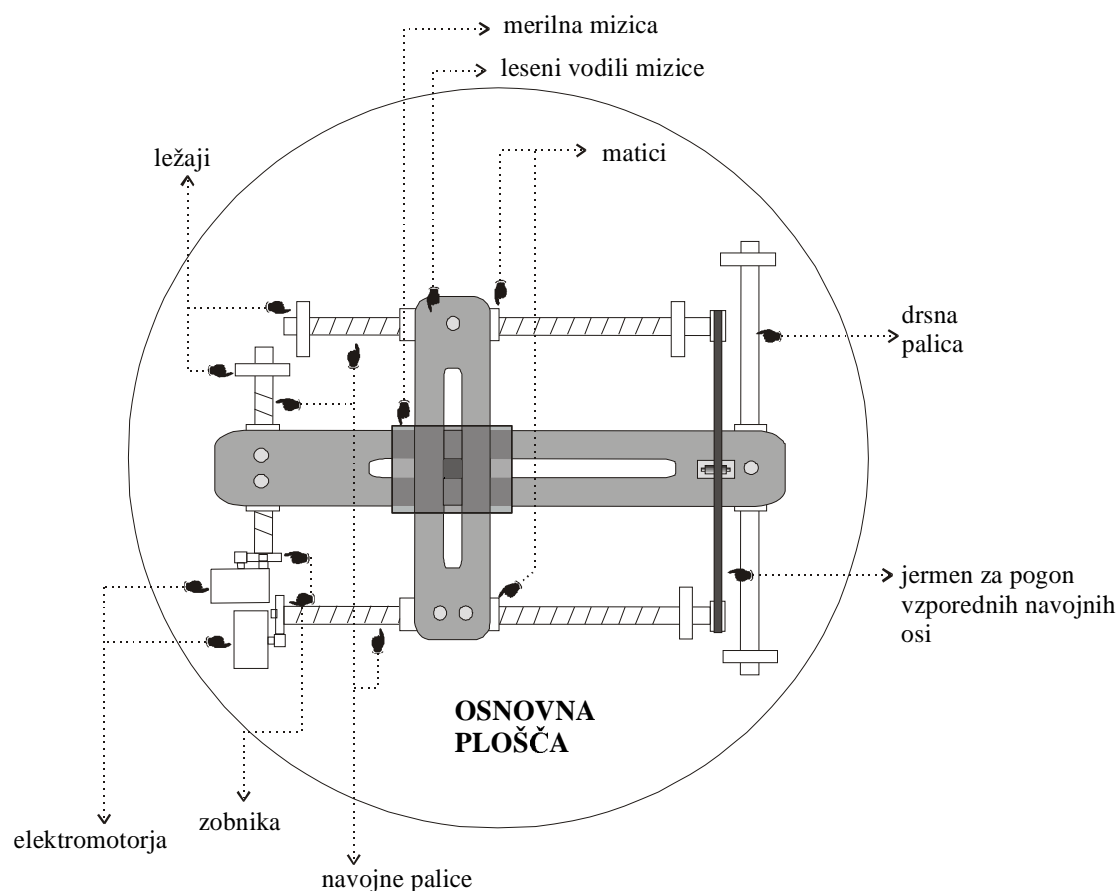
- Merjenec prilepimo na mizico, ki jo kontrolirano (prek računalniškega programa) s koračnimi motorčki vodimo v vodoravni ravnini.
- Na konec vzvoda pritrjeno tipalo (obrušeno jekleno šilo) drsi po merjencu in skladno z reliefom merjenca dviga in spušča vzvod.
- Laserski curek usmerimo na ogledalce, ki je prilepljeno na sredino vzvoda.
- Svetloba laserskega curka delno osvetljuje dve na svetlobo občutljivi diodi. Napetost na diodi je močno odvisna od osvetljenosti diode. Računalniški program bere razliko med napetostma na diodah in jo ojači. Na ta način lahko določi premik merilne sonde.
- Računalnik sproti zapisuje položaj merilnega tipala in vrednosti shrani v pomnilnik. Program omogoči večplastni prikaz reliefa površine preiskanega vzorca.

Ko sva se lotila naloge, sva si posamezne sklope razdelila. Aljoša se je ubadal predvsem z izdelavo potrebnih mehanskih sklopov, Tone pa je bil zadolžen za elektroniko in ustrezen računalniški program. Kako sva reševala probleme v zvezi z izdelavo posameznih sklopov sva opisala v naslednjem poglavju.

IV. OPIS RAZISKOVALNEGA DELA

1. IZDELAVA MEHANSKIH SKLOPOV

Osnova AFM je merilna mizica, s katero lahko kontrolirano prek vodil pomikamo vzorec v vodoravni ravnini.



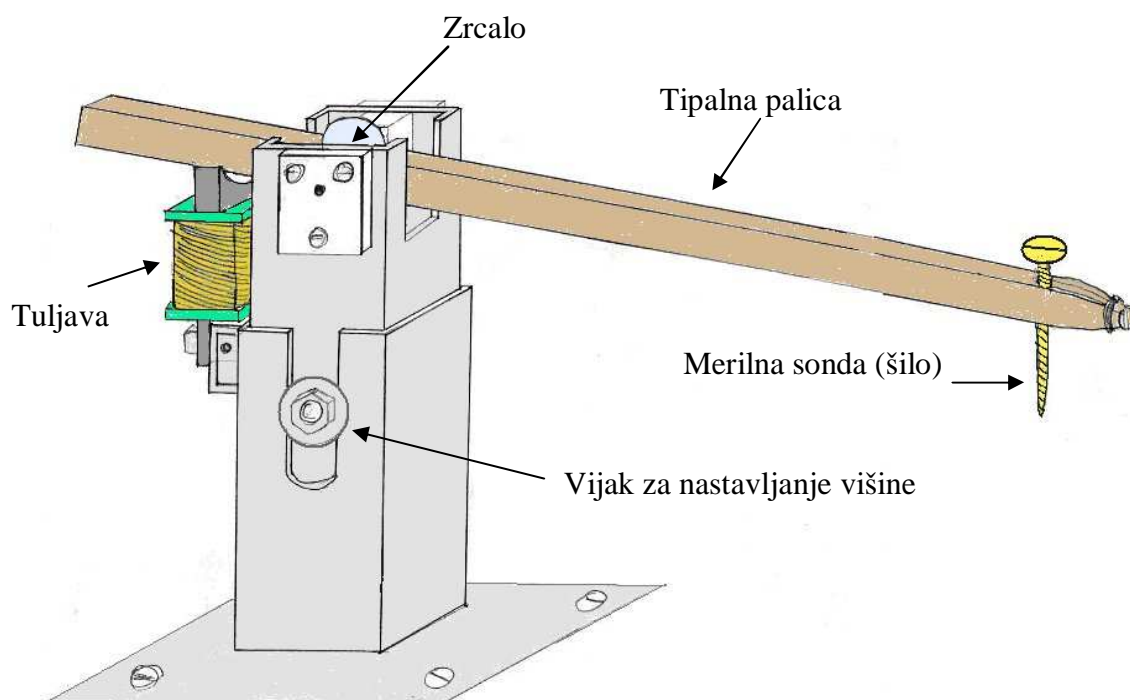
Slika 4: Shema merilne mizice.

Temeljni problem pri izdelavi mizice je njen pogonski mehanizem, ki ga je mogoče s pomočjo računalnika dvodimenzionalno krmiliti. Za izdelavo tega mehanizma sva uporabila sisteme jermenskih in zobniških prenosov ter koračne motorčke iz starih tiskalnikov. Vodila mizice so izdelana iz hrastovega lesa, premik vodil je izveden s po meri narejenimi navojnimi palicami.

Najprej sva si zamišljene sistem skicirala, nato sva začela z deli na prvem mehanskem modelu naprave. Leseni vodili sva namestila na malo modificirane nosilce tiskalniških

kartuš skupaj s svojim plastičnimi ogrodji na eni strani in na navojne palice na drugi. Prvotno je bilo vodilo gnano le po enem nosilcu, kasneje pa sva se odločila, da bo daljše vodilo gnano na obeh nosilnih oseh, saj je prišlo zaradi relativno velike dolžine vodila do velikih strižnih sil in s tem tudi do nezaželenega podrsavanja vodila. Tako sva enega od nosilcev zamenjala z dodatno navojno palico, prenos moči pa opravlja jermen. Idealno bi bilo, če bi bile gnane vse od štirih osi (sedaj le 3), a ker za spreminjanje navojnih palic nismo imeli orodja in smo jih dali izdelati po naročilu, nam je za tretji popravek, ki bi omogočil takšen pogon vodil, zmanjkalo časa. Navojne palice ženejo preko zobnikov koračni motorčki, ki so pritrjeni v leseno ohišje z vijaki. Na nosilce in matice, ki drsijo po navojnih palicah, smo pritrčili vodila iz hrastovega lesa in na koncu vanje vstavili še merilno mizico.

Potrebno je bilo izdelati še tipalo, ki smo ga prav tako kombinirali: ogrodje je železno, nanj pa je pritrjena lesena tipalna palica z izbrušenim jeklenim vijakom (šilom) za konico. Na vrtilni osi je prilepljeno ogledalo, ki omogoča odboj laserskega žarka. Železno ogrodje ima privarjen nastavek na katerega je pritrjena tuljava. S tokom po tuljavi ustvarimo magnetno polje, ki lahko tipalo dvigne. To je potrebno storiti vsakokrat, ko vodila zapeljejo tipalo na novo merilno mesto. Vsi elementi so pritrjeni na leseno podlogo iz vezane plošče, ki zagotavlja stabilnost sistema. Tipalo prikazuje spodnja skica.



Slika 5: Shema tipala.



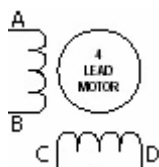
Slika 6: Fotografija merilne palice.

Pri prvih meritvah sva ugotovila, da so bile navojne palice malo ukrivljene. Tega prej s prostim očesom nisva opazila. Zato je merilna mizica nihala, kar pa je svetlobni senzor seveda zaznal. Ta napaka je zelo kazila kvaliteto prvih meritev. Napako sva odpravila tako, da sva navojne palice, ki premikajo vodila mizice, ustrezno podložila.

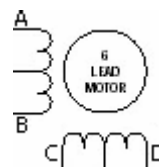
2. KRMILJENJE KORAČNIH MOTORJEV

Pri tem delu raziskovalne naloge sva imela ogromno težav. Motorji so se najprej zelo greli, bili so glasni in povrh tega se še vrteli izredno počasi. Toda - kdor išče, ta ponavadi najde. In tudi nama je uspelo.

Krmiljenje motorjev ni prav nič komplicirana stvar, ko enkrat razumeš princip delovanja motorja. Koračni motorji imajo več navitij. V grobem jih delimo na uni-polarne (6 žic) in bi-polarne (4 žice).



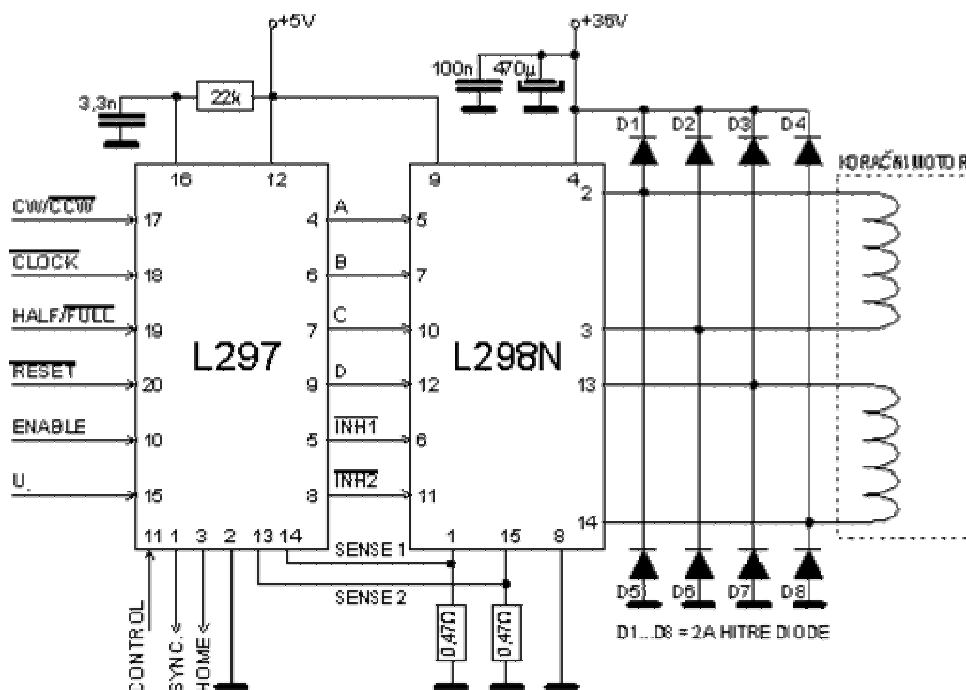
Slika 7: Bi-polaren koračni motor.



Slika 8: Uni-polaren koračni motor.

Za vsak korak je potrebno motor drugače priključiti na napetost. Poznamo tri različne kombinacije preklapljanja od česar je odvisno delovanje motorjev. Pri najini raziskovalni nalogi sva uporabila polni način (FULL mode), obstajata pa še HALF in WAVE način. Ta dva za naju nista tako pomembna, ker polni način popolnoma zadostuje, tako glede hitrosti kot tudi navora.

Ko sva odkrivala skrivnosti elektronike, sva se marsikaj naučila. Med drugim sva spoznala vezje, ki poskrbi za vse v zvezi z vodenjem koračnih motorjev (kombinacije, način delovanja, smer in še kup drugih, amaterju nepoznanih stvari).



Slika 9: Vezje za krmiljenje bi-polarnega koračnega motorja.

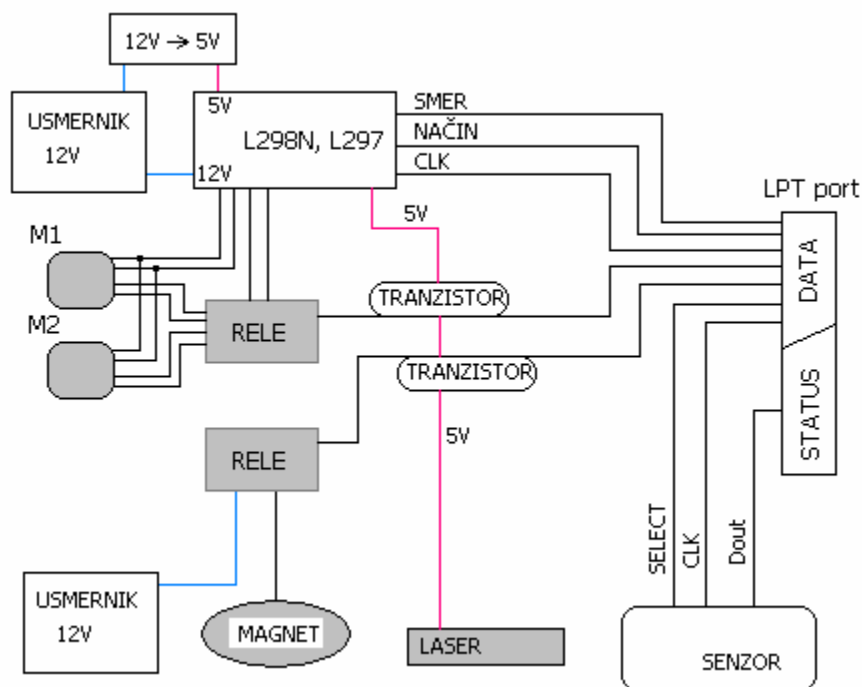
Prvi čip (L297) iz podane smeri (CW/CCW), načina delovanja (HALF/FULL) in za vsak takt (CLK) pošlje na izhod pravilno kombinacijo impulzov za novi korak motorja. Drugi čip (L298N) pa odpira in zapira tokove skozi motor, kakor mu prvi čip narekuje. Narejen je za velike tokove in napetosti in vsebuje najrazličnejše mehanizme, kot je zmanjšanje toka skozi motor, ko ga ta ne potrebuje več, s čimer se motorji skoraj ne segrevajo več in lahko delujejo pri večjih hitrostih in brez nepotrebnega zvoka.

Zgornje vezje je sicer prirejeno za krmiljenje bi-polarnih motorjev, midva pa sva iz starih tiskalnikov dobila samo uni-polarne. Težavo smo elegantno odpravili tako, da smo pustili po dve (srednji) žici iz vsakega navitja brez priključka.

Integrirano vezje L297 je povezano z računalnikom (v nadaljevanju PC) preko LPT vrat, skozi katere mu računalnik pošilja impulze za smer, način delovanje in takt. En takt, en korak, kar je za ta motorja približno 1/24 obhoda. In že smo pri naslednjem problemu. Kaj pa storiti z drugim motorjem? Še eno vezje? – Ne, med motorjema lahko PC preklaplja z relejem, ki ga odpirajo ponovno LPT vrata, preko še enega

stikalnega tranzistorja. Podoben princip sva uporabila tudi za elektromagnet, ki po ukazu iz PC dvigne merilno palico.

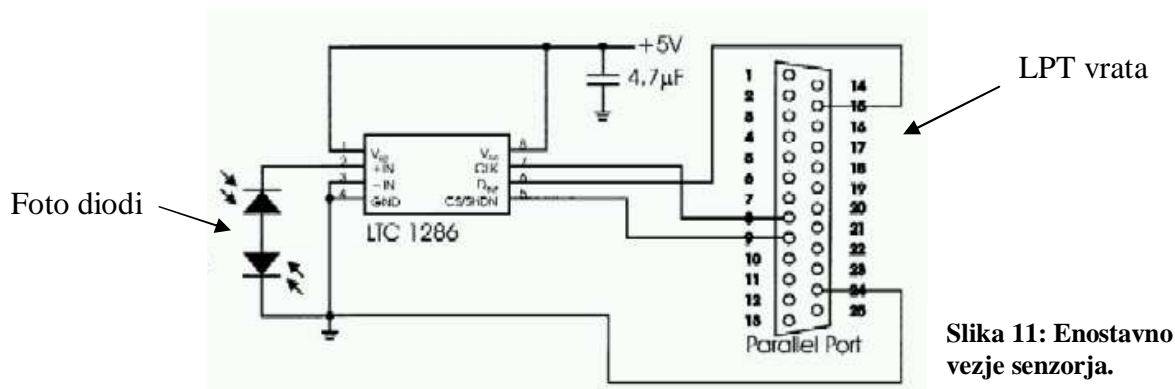
Poenostavljena shema elektronike, ki sva jo uporabila za krmiljenje merilne mizice, izgleda ob koncu nekako takole:



Slika 10: Shema celotnega vezja.

3. SVETLOBNI SENZOR

Senzor je navadni analogno/digitalni pretvornik LTC1286 (v nadaljevanju LTC), ki meri razliko napetosti na dveh nasprotno usmerjenih foto diodah. Na primer: ko je ena dioda bolj osvetljena, se na njej pojavi večja napetost kot na drugi in LTC vrne digitalni zapis razlike teh dveh napetostih. Če bi uporabila samo eno foto diodo, bi bila občutljivost sistema bistveno manjša.



Slika 11: Enostavno vezje senzorja.

Prenos podatkov med LTC-jem in računalnikom mora biti dovolj hiter, drugače LTC ne meri pravilno. Najprej mu PC pošlje preko LPT vrat CS impulz, za katerim sledi 13 CLK (takt) impulzov. Med vsakim taktom pa preveri vrednost na izhodu LTC-ja in si jo zapomni. Če prve vrednosti, za prvim taktom, ki je neuporabna, ne upošteva mu ostane še 12 podatkov v obliki (1 ali 0). S pomočjo teh podatkov, računalnik kasneje izračuna pozicijo laserskega žarka na foto diodah in določi višino reliefa.

4. OBDELAVA IN PRIKAZ PODATKOV

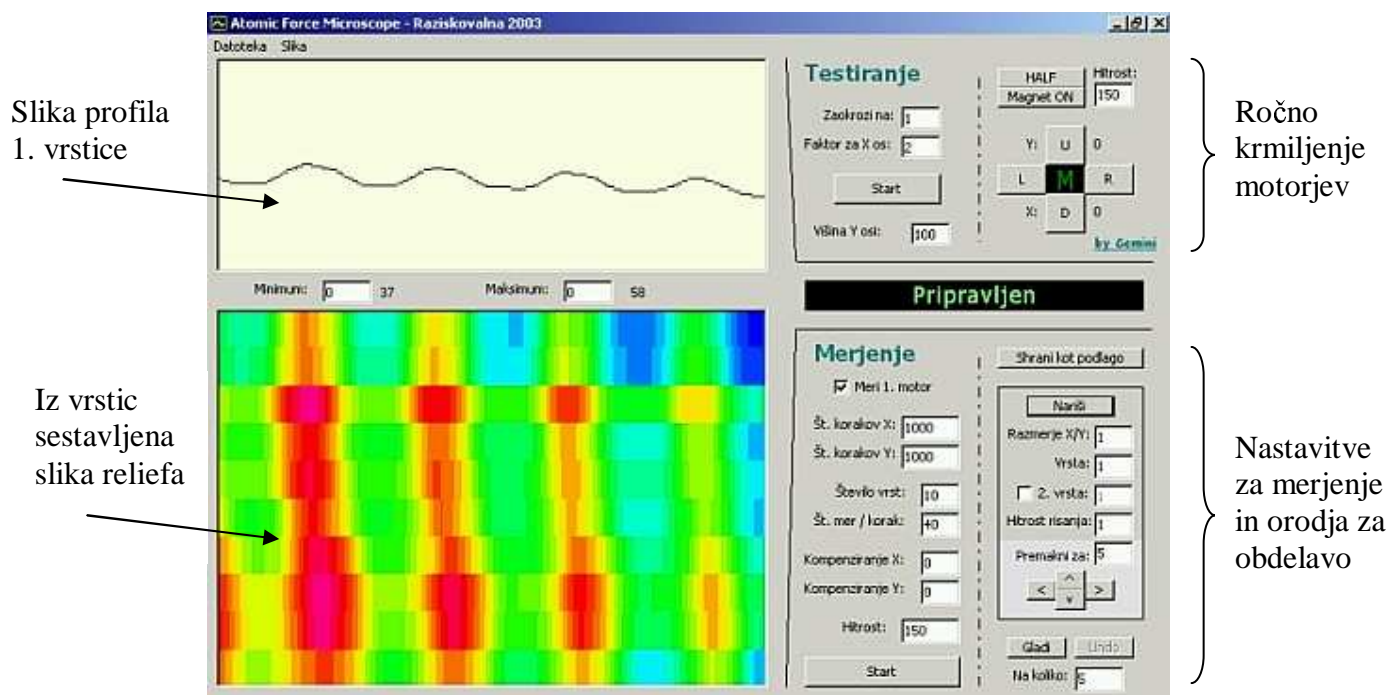
Program AFMr.exe je bil napisan v Visual Basic-u 6. Njegova primarna naloga je upravljati z elektroniko (motorji, magnetom, LTC). S pritiskom na tipko Start nastavi program smer in način delovanja na L297, nakar začne pošiljati takte (CLK). Po vsakem taktu 40-krat izmeri vrednost na senzorju (po prej opisanem postopku), izračuna povprečje teh izmerkov, si vrednost zapomni in nadaljuje z naslednjim taktom, kjer se zgodba ponovi. Ko pride do zadnjega koraka, PC vklopi magnet, takrat se merilna palica dvigne in sledi vrnitev mizice nazaj na prvotno mesto. Nato PC vklopi drugi motor in pošlje takte za premik v novo vrsto. Ko se mizica prestavi v novo vrsto, PC izklopi magnet, merilna palica pade nazaj na merjenec in za tem računalnik nariše relief pravkar izmerjene vrste. Program najprej poišče najvišjo in najnižjo izmerjeno vrednost in temu primerno priredi barvno skalo. Sledi risanje črtic, vsako s svojo barvo, odvisno od shranjene povprečne vrednosti dobljeno iz LTC in barvne skale.

$$\text{Barva} = (\text{Vrednost} - \text{min}) / (\text{max} - \text{min}) * 1271^*$$

Vse to se ponovi še za vsako vrsto in čisto na koncu se mizica vrne v prvotni položaj.

* Program loči 1271 barv (odtenkov) mavrice. (1. - modra; 1271. – rdeča, oz. vijolična)

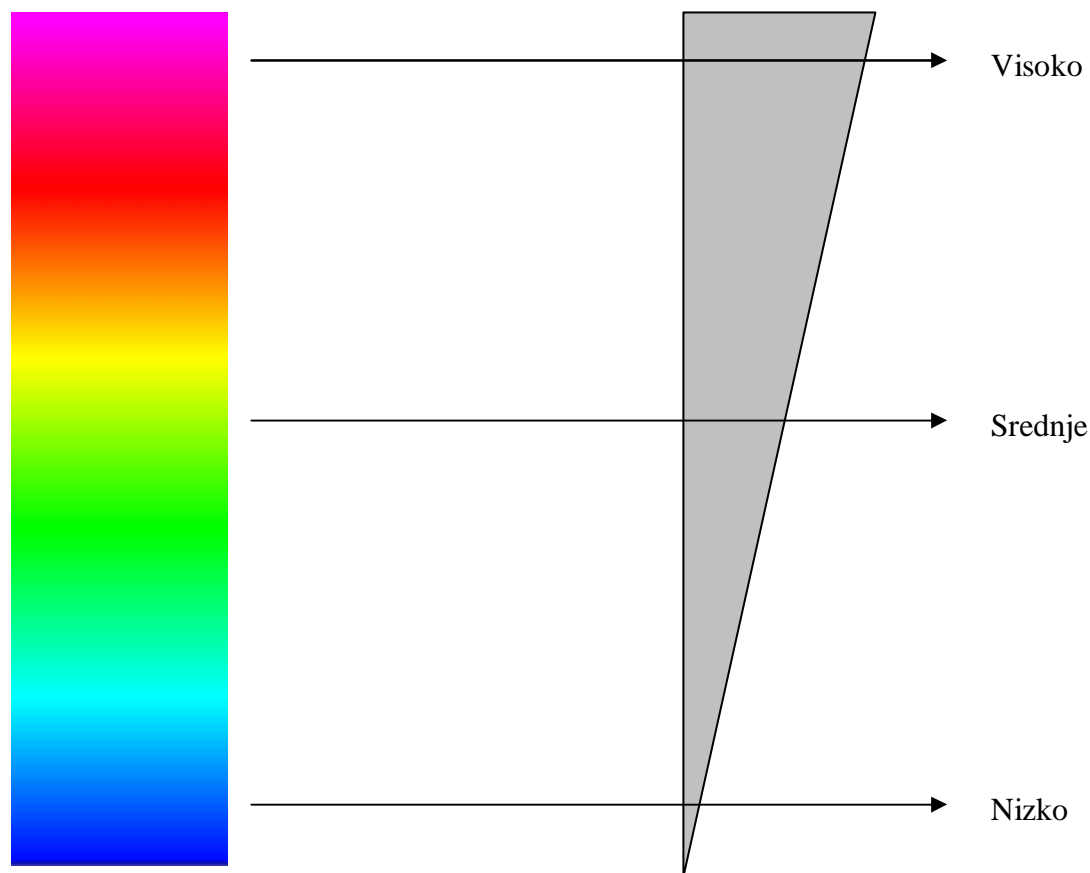
Slika, ki nastane na zaslonu, pa je sedaj pripravljena za analizo in obdelavo.



Slika 12: Primer meritve na ravni mizici. Jasno je razvidno nihanje navojnih palic, ki premikajo vodila mizice. Napako sva kasneje odpravila.

Kvalitativna barvna skala

Višina reliefa

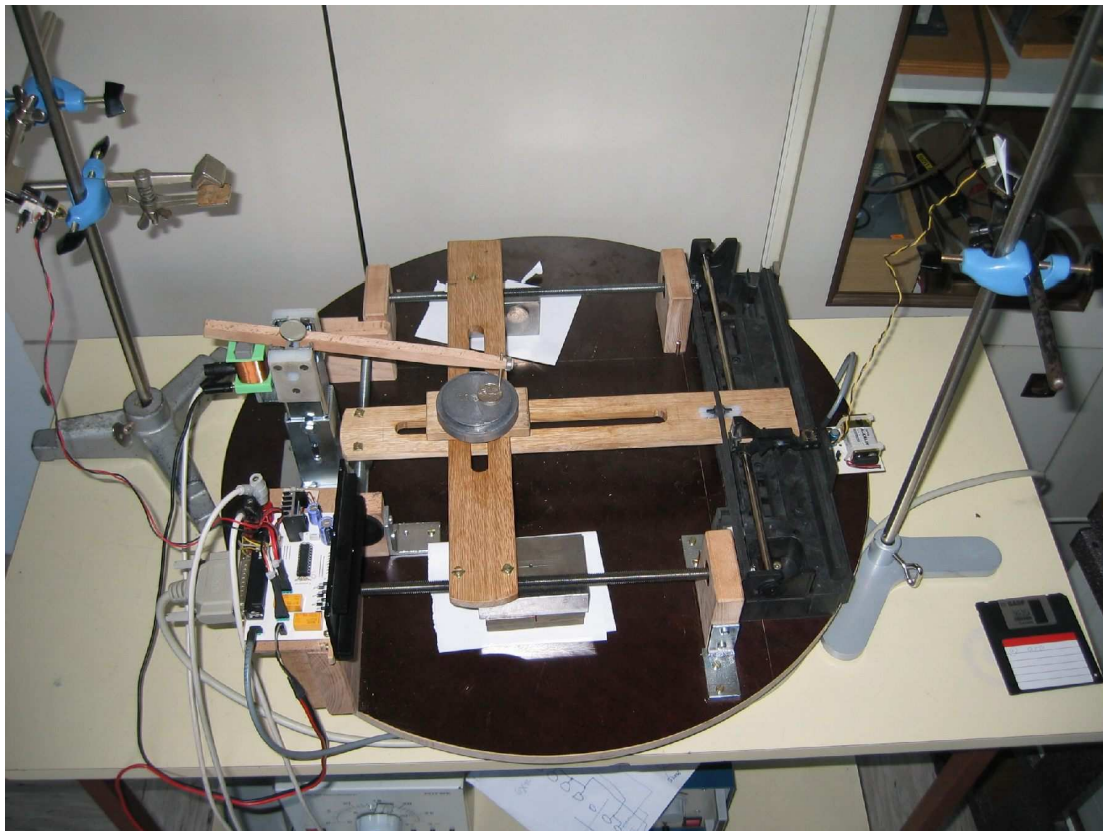


Slika 13: Kvalitativna barvna skala.

V. OSREDNJI DEL

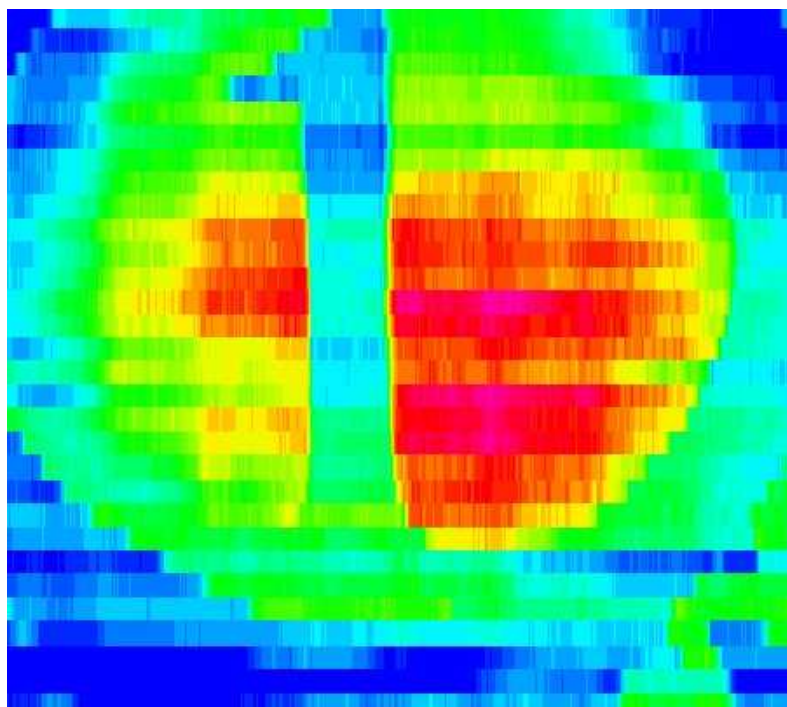
MERITVE Z AFM

Ko je bil sistem postavljen, je trajalo kar nekaj časa, da smo ga umerili in pripravili za merjenja. Spodnja slika kaže postavljen sistem pred prvim merjenjem.

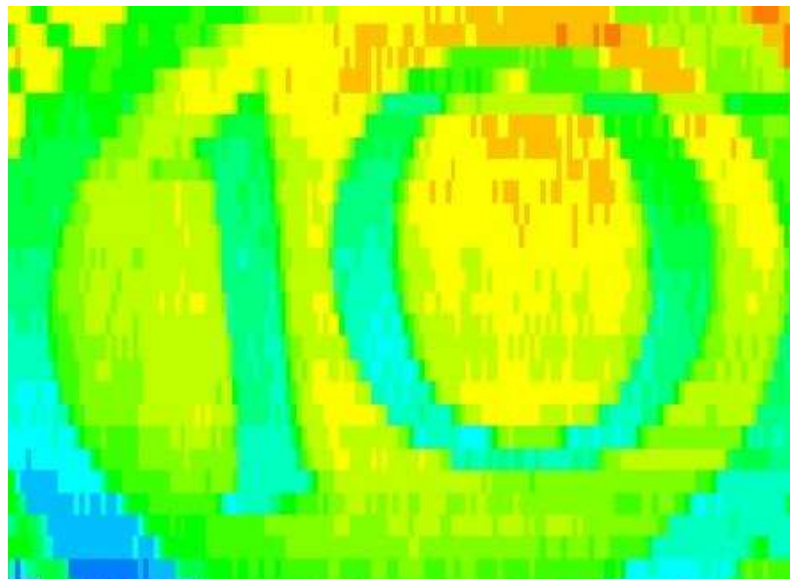


Slika 14: Merilni sistem pripravljen za merjenje.

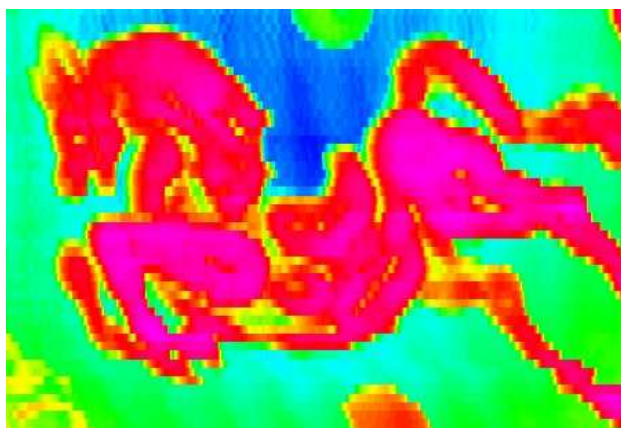
Merilni sistem sva umerjala in ga počasi izboljševala. Včasih je bilo treba malce popraviti program, zamenjala sva merilni svetlobno občutljivi diodi, nato sva spremenila oddaljenost senzorja od zrcala, in s tem povečala odklon laserskega žarka na diodah itn. Slike najinih merjenecv (uporabila sva kar tolarske kovance) so se postopoma izboljševale, kot je prikazano na naslednjih nekaj slikah:



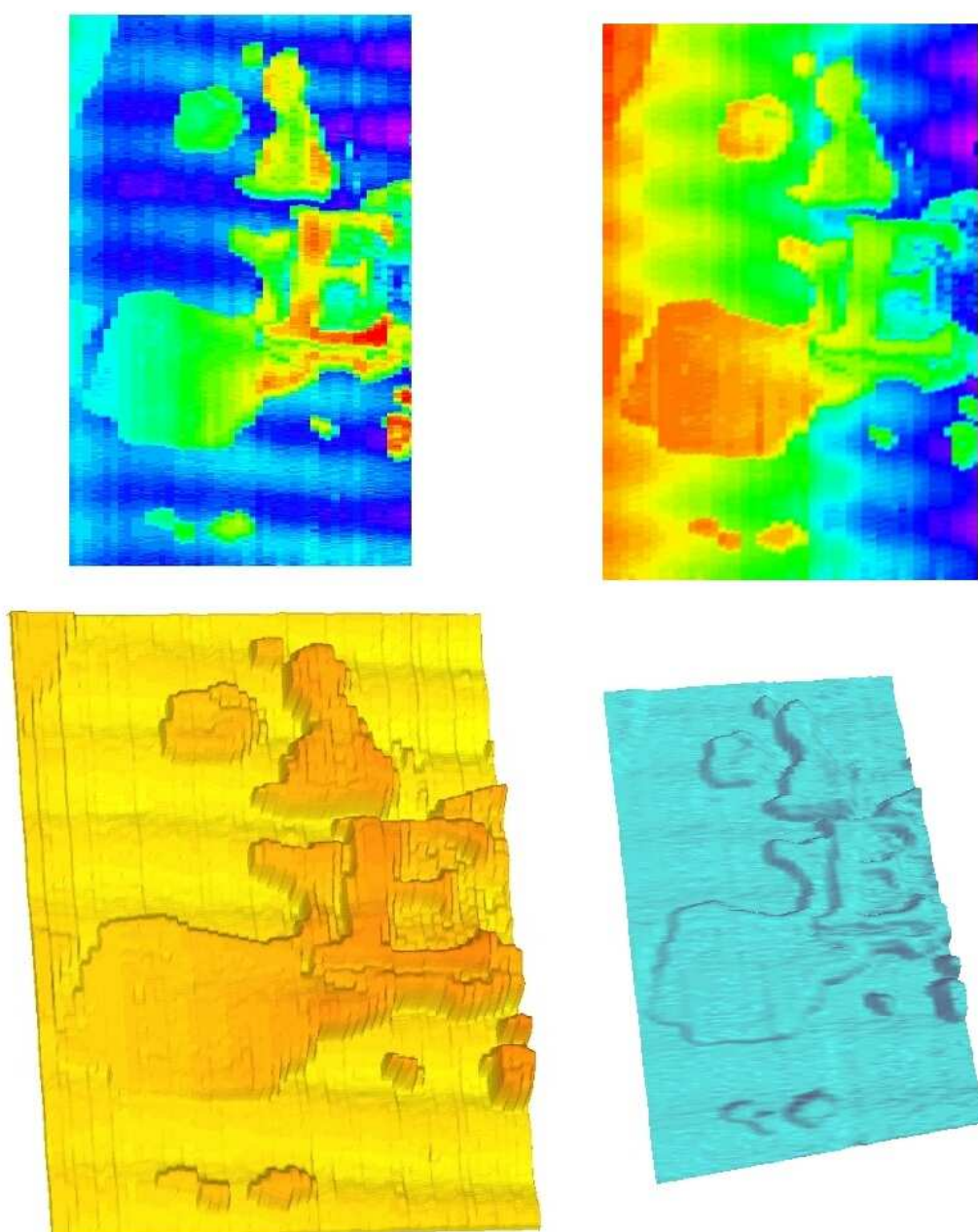
Slika 15: Ena prvih meritev je bila številka na kovancu za en slovenski tolar.



Slika 16: Sčasoma smo napredovali - slika kovanca za deset slovenskih tolarjev.



Slika 17: Ena boljnih meritev - konjiček na hrbtni strani kovanca za deset slovenskih tolarjev.



Slika 18: Na koncu pa še kovanec za 2 eura

VI. Razprava

Preden sva z najinim modelom AFM izmerila nekaj zares lepih reliefov je bilo potrebno odpraviti ogromno težav. Pri prvih meritvah sva opazila, da mizica počasi niha gor in dol. To bi bilo zelo moteče pri nadaljnjih meritvah, zato sva hotela težavo naprej odpraviti programsko. Nihanje mizice bi izmerila posebej (kot »ozadje«), nato pa bi med merjenjem to neželeno nihajoče »ozadje« sproti odštevala od izmerjenega signala. Ko pa sva to naredila, se je pojavil nov problem. Motorja nista vrnila mizice nazaj na natančno isti izhodiščni položaj, kar pomeni, da princip: »en takt, en korak« ne velja povsem natančno. Če pride do zamika, program odšteva od signala nekoliko premaknjeno ozadje, kar povsem popači sliko. Programska rešitev je bila tako neustrezna.

Novo rešitev tega problema je ponudil Aljoša. Pod matici, ki premikata vodili mizice, je podstavil dve podložki. S tem se višina matic (in tudi vodil) ne more več spreminjati in problem premikajoče se mizice je bil enostavno rešen.

Pojavil se je tudi problem nenatančnosti koračnih motorjev. Tega sva programsko rešila tako da, če je potrebno, lahko po opravljeni meritvi programsko prestavlja vrstico levo ali desno, gor ali dol.

Opisala sva le dve glavni težavi, seveda pa je bilo še cel kup manjših težavic. Rečeva lahko, da je odpravljanje teh predstavljalo zelo velik del najine naloge.

Ob koncu naj za prikaz količine vložene dela poveva le to, da je prvo vezje nastajalo cele zimske počitnice. Ko pa sva ga prvič preizkusila je deloval (svetil) samo laser.

Sistem bi se seveda dalo še izboljšati. Sama mehanika v najinem modelu omogoča premikanje merjenca za nekaj mikronov, kar pa bi se z drugačnim gonilnim sistemom dalo še povečati. Prav tako bi lahko povečala ostrino tipala, in s tem občutljivost merilnika.

VII. Zaključek

Najin model AFM dobro simulira delovanje pravega AFM-a. Cilj, ki sva si ga ob začetku zastavila, sva dosegla – lahko rečeva, da je najina začetna hipoteza potrjena. Naprava je zmožna zelo natančno meriti relief površine, zato bi bila uporabna v industriji, kjer izdelujejo ali pa obdelujejo različne materiale, lahko pa bi bila tudi zelo dober učni pripomoček pri pouku fizike. Dijakom nazorno pokaže princip delovanja pravega AFM in z merjenjem reliefa njihovih lastnih predmetov naredi tematiko toliko bolj zanimivo.

Med raziskovanjem sva se ogromno naučila, saj so nama bile teme kot: krmiljenje koračnih motorjev, analogno/digitalni pretvornik, idr. skoraj popolnoma neznane. Sedaj imava znanje, ki nama bo koristno služilo pri nadaljnjih projektih in ki je vsaj malo spremenilo najin pogled na svet.

Spoznala sva, da je pot od ideje do realizacije dolga, težka in polna nepričakovanih izzivov, še večje spoznanje pa pravi, da ni stvari, ki se ne bi dala izboljšati. (Le telebani sanjajo o zlati verziji računalniškega progama!)

VIII. Viri

1. BERGER, R.: The Atomic Force Microscope: A Low-Cost Model. V: The Physics Teacher. 6(2002)40. Str.502-503.
2. LAVRIČ, S.: Krmiljenje koračnih motorjev v teoriji in praksi. [Elektronski vir]. [citirano: 15. januarja 2003; 21:30]. Dostopno na URL-naslovu: <http://194.249.207.126/users/slavric/kmotor/>.
3. SGS THOMSON: The L297 Stepper motor controller. [Elektronski vir]. [citirano: 16. januarja 2003; 17:00]. Dostopno na URL-naslovu: <http://www.alltronics.com/download/1734.pdf>.
4. LINEAR: LTC1296/LTC1298. [Elektronski vir]. [citirano: 20. decembra 2002; 8:00]. Dostopno na URL-naslovu: <http://satdrive.free.fr/FICH-PDF/LTC1298.pdf>.
5. MAGDA, J.: A simple adc on an LTC1286 chip. [Elektronski vir]. [citirano: 20. december 2002; 9:00]. Dostopno na URL-naslovu: <http://www.chipcenter.com/circuitcellar/april01/c0401ym1.htm>.

IX. Zahvala

Hvaležna sva vsem, ki so kakorkoli pripomogli k temu, da je najino raziskovalno delo dokončano, še posebej pa bi se rada zahvalila:

- mentorjema, Vitomirju Babiču, prof., ki nama je omogočil uporabo šolskih prostorov, za njegovo koordinacijo in spodbudne besede in Rajku Seliču, za pomoč pri izdelavi mehanskih delov sistema.
- Gospodu laborantu za fiziko, Par Gvidu, dipl. ing., ki nama je z veseljem pomagal z nasveti in omogočil uporabo šolskega inventarja.
- Andreju Vrečerju, ki je s svojim znanjem elektrotehnike in izkušnjami ogromno pripomogel k delovanju modela AFM.
- Mihi Derganu, ki nama je dal svoj pokvarjen tiskalnik.
- Učiteljem fizikalnega kabineta, ki so strpno prenašali najino nenehno motenje.