

»Mladi za napredek Maribora 2015«

32. srečanje

Računalniško krmiljen rezkalnik kot učni pripomoček za prikaz delovanja računalniško podprte proizvodnje

Raziskovalno področje: PROIZVODNO-TEHNIČNO

Inovacijski predlog

Avtor:	FILIP MARUŠIČ
Mentor:	BORIS VOLARIČ
Šola:	OŠ BRATOV POLANČIČEV MARIBOR

Maribor, februar 2015

KAZALO

Kazalo.....	2
Povzetek	3
Zahvala.....	4
1 Uvod	5
1.1 Opredelitev problema.....	5
2 Teoretske osnove	5
2.1 Raspberry Pi	5
2.2 Linux.....	6
2.3 Rezkanje	8
2.4 Računalniško podprta proizvodnja	9
3 Metodologija dela	10
3.1 Idejna zasnova.....	10
3.2 Izdelava računalniško krmiljenega rezkalnika.....	11
3.3 Računalniško krmiljenje rezkalnika	15
3.4 Tehnološka dokumentacija	17
3.5 Programska oprema.....	18
4 Rezultat	18
5 Družbena odgovornost.....	20
6 Zaključek.....	21
7 Viri	22
8 Kazalo slik	24
9 Kazalo tabel	24
10 Priloge.....	25

POVZETEK

V slovenskih osnovnih šolah imajo učenci od šestega do osmega razreda pouk tehnike in tehnologije. V osmem razredu se učenci učijo izdelovati izdelke s pomočjo računalniško podprte proizvodnje. Žal pa večina šol nima denarja, da bi si lahko stroje za računalniško podprto proizvodnjo privoščila. Prav zaradi tega smo se odločili izdelati računalniško krmiljen rezkalnik, katerega vrtalna glava se premika na treh oseh. Na vsaki osi je elektromotor na svojem vodju, ki premika rezkalno glavo v željene smeri glede na ukaze programa. Krmili jih računalnik na enem vezju Raspberry Pi. V inovativnem projektu so zapisana tudi navodila, kako rezkalnik sestaviti, ter spisek materiala, potrebnega za njegovo izdelavo. Rezkalnik se lahko uporablja v osnovnih šolah pri pouku tehnike in tehnologije ter v različnih manjših obrtnih ali lesarskih delavnicah.

ZAHVALA

Iskrena hvala mentorju za strokovno vodenje, g. hišniku za pomoč pri izdelavi rezkalnika, podjetjema AJM okna-vrata-senčila, d.o.o. in Bell d.o.o. za donacije surovin, s katerimi smo rezkalnik izdelali, ter staršem, ki so mi stali ob strani v času nastajanja tega inovativnega projekta.

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema

Učni načrt 8. razreda osnovne šole predvideva izdelavo računalniško podprtih izdelkov. Takšni izdelki so praviloma šolam cenovno nedostopni, saj tovrstna tehnologija zahteva ustrezno računalniško podprtost in kompatibilne mehanske pogonske sklope. Menim, da je Raspberry Pi izjema ter da lahko šolam v prihodnosti nadomesti drage in cenovno nedosegljive učne pripomočke.

2 TEORETSKE OSNOVE

2.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je zelo majhen in poceni računalnik, ki lahko počne večino stvari kot vaš "pravi" PC (spletni brskalnik, OpenOffice.org itd.). Zaradi majhnosti in cene ga lahko uporabimo tudi namesto mikrokontrolorjev, usmerjevalnikov omrežnega prometa in podobno. "Uradno" je namenjen izobraževalni sferi oziroma šolam, da bi otroci dobili željo in voljo po programiranju (1). Raspberry Pi je enotni potovalni računalnik v velikosti kreditne kartice, ki ga je razvila Raspberry Pi fundacija v Veliki Britaniji. Poganja ga Linux operacijski sistem. Namen Raspberry Pi je spodbuditi učence in učitelje z vsega sveta, da bi učenje računalniške znanosti in programiranja ponovno postalo zabavno.

Ideja o majhnem in poceni računalniku za otroke je prišla na misel skupini raziskovalcev iz računalniškega laboratorija Univerze Cambridge's, ko so opazili upad znanja in spretnosti pri študentih. Povprečen dijak je namreč znal le nekaj več kot izdelati osnovno obliko za splet.

Računalniki so postali precej dragi in starši otrokom najbrž ne bi dopustili eksperimentalnega programiranja, kjer lahko gre kaj narobe. Potrebno je bilo najti pot,

kako bi naredili takšen računalnik, na katerem bi lahko programirali brez zadržkov. In tako so od leta 2006 do 2008 izdelali nekaj prototipov, ki so sedaj združeni v Raspberry Pi.

Raspberry Pi je zanimiv tudi za države v razvoju, saj si ne morejo privoščiti električnega omrežja z močjo za poganjanje tradicionalnega namiznega računalnika. Povpraševanje so prejeli še od bolnišnic in muzejev, saj bi radi uporabljali Raspberry Pi za poganjanje prikazovalnih zaslonov. S fundacijo so vzpostavili kontakt tudi starši otrok s posebnimi potrebami, s katerimi so se pogovarjali o aplikacijah za nadzor in dostopnost. Seveda pa obstaja še milijon ljudi, ki bi radi spajkali in izdelali svojega robota. Odgovorov na vsa vprašanja nimajo. Raspberry Pi ni naprava, ki bi odpravila vse svetovne računalniške težave, vendar verjamejo v to, da so pobudniki. Poceni in dostopne programirljive naprave želijo videti vsepovsod, pravzaprav hočejo, da ostala podjetja pričnejo klonirati to, kar delajo oni. Prekiniti želijo tudi paradigmo, da je za računalnik potrebno zapraviti več sto evrov, medtem ko družine ne morejo uporabljati interneta. Hočejo imeti računalnik, ki bo dovolj dober za otroke, veselo pa zrejo v prihodnost skladišča (2).

2.2 Linux

Linux je računalniški operacijski sistem, ki je bil sestavljen na podlagi modela proste in odprtokodne programske opreme. Linux je bil prvotno razvit kot prost operacijski sistem za Intel x86, ki temelji na osebnih računalnikih (3). Odkar je bil prenesen na več računalniške strojne platforme, je postal vodilni operacijski sistem na strežnikih in drugih velikih računalniških sistemih. Novembra leta 2014 je imelo več kot 97 % najhitrejših računalnikov na svetu operacijski sistem Linux. Linux prav tako podpira različne telefone, tablične računalnike, omrežne usmerjevalnike, konzole za video igre in tako naprej. Osnovni vir – koda se lahko uporabi, spremeni in se razdeli komercialno ali ne-komercialno za vsakogar, v okviru licence kot je GNU – General Public License. Distribucije Linuxa vključujejo Linux jedra, ki podpirajo pripomočke in knjižice, ter po navadi veliko aplikacij za izpolnitev distribucije za predvideno uporabo.

LINUX ni samostojen sistem, ampak je samo jedro operacijskega sistema. Pisati ga je začel Linus Benedict Torvalds, kmalu po objavi izvirne kode na internetu pa se mu je pridružilo veliko drugih programerjev. Linux je od takrat postal zmogljivejši in bolj priljubljen.

Programska koda operacijskega sistema GNU/Linux je bila in je še vedno na voljo vsem razvijalcem programske opreme, zato je tudi nastalo veliko distribucij. Večina teh je odprtokodnih. Posledično je nastalo še veliko t. i. poddistribucij, kot je na primer Ubuntu, ki temelji na odprtokodni distribuciji Debian (4).

Linux je odprtokoden, kar pomeni, da je njegova izvorna koda na voljo vsem. Linux ni celoten OS, ampak samo jedro operacijskega sistema, ki potrebuje dodatno programsko opremo, da postane uporaben. Skupina GNU je ustvarila operacijski sistem, ki uporablja to jedro, imenuje pa se GNU/Linux. Ker je iz GNU/Linuxa težko napraviti delujoč in uporaben sistem (namestitve, nastavitve, nameščanje raznih orodij ...), obstajajo razne distribucije, ki vsebujejo vse potrebno v enem paketu. Ker je Linux odprtokoden, je na voljo veliko distribucij, ki se med sabo včasih tako razlikujejo (različni vmesniki, razne knjižnice itd.), da so nekompatibilne, zato nekatere aplikacije ne delajo na vseh distribucijah. Linux je na voljo po delih, ki jih lahko sestavljamo in spreminjamo, lahko pa dobimo že vnaprej sestavljene pakete v obliki distribucij.

Pri osebnih računalnikih je uporabniški vmesnik zelo pomemben del operacijskega sistema, ki med drugim omogoča tudi veliko lažje in hitrejše delo z računalnikom. Najpopularnejša grafična uporabniška vmesnika za Linux sta KDE in Gnome.

Linux je večuporabniški sistem. Uporabniki so lahko tudi člani skupin. Glavni uporabnik, ki ima največ privilegijev, se imenuje root. Uporabnik root je sistemski administrator in ima dostop do vseh datotek. V Linuxu je vse predstavljeno v obliki datotek – tudi strojna oprema. Vsaka datoteka ima določenega lastnika in skupino.

Linux postaja vedno bolj uporabnikom prijazen sistem (izboljšani grafični vmesniki, razna orodja, distribucije ...). Največji problem je ta, da ni standardiziran (ker je odprtokoden) in da nima tako velike podpore, kot jo ima Windows.

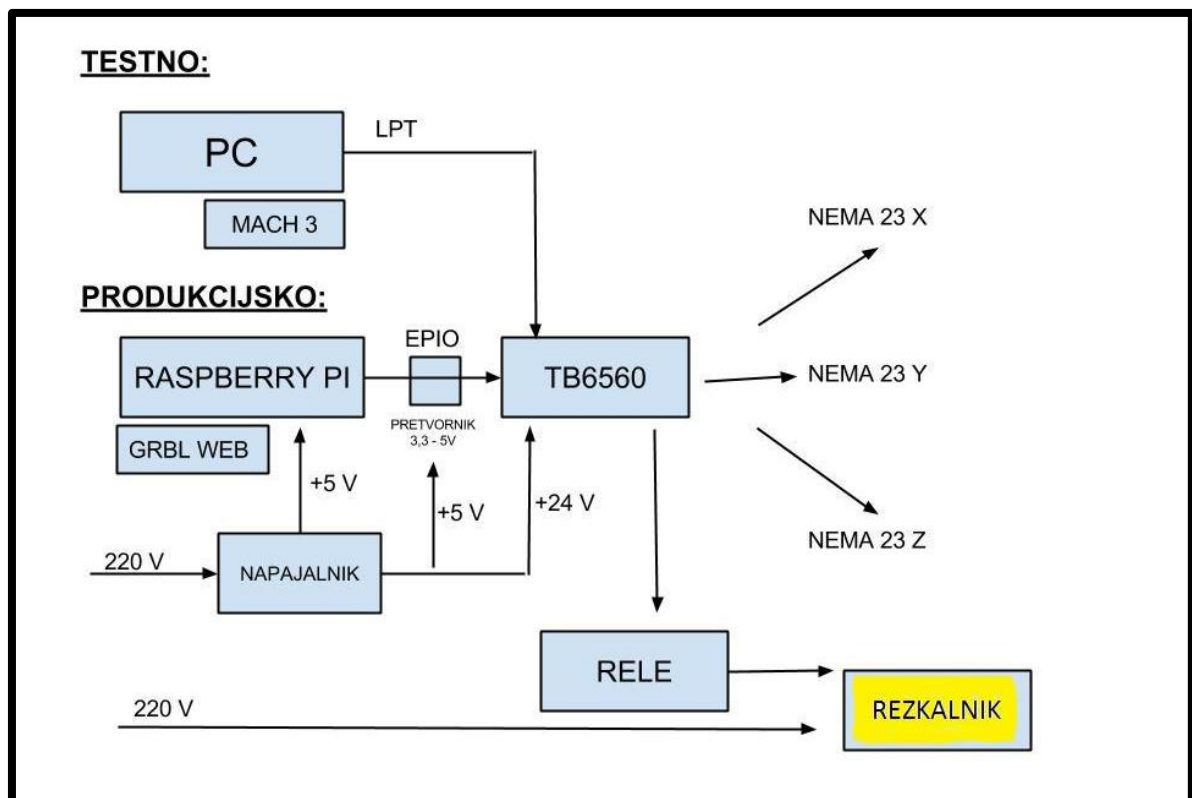
2.3 Rezkanje

Rezkanje je postopek odrezovanja, pri katerem opravlja orodje – rezkalo – glavno rotacijsko gibanje, podajalna gibanja pa so lahko premočrtna ali rotacijska. Po navadi opravlja podajalna gibanja obdelovanec. Pri večini obdelovalnih postopkov (struženju, vrtanju ...) je smer podajanja pravokotna na smer rezanja. Pri rezkanju pa se – če zasledujemo posamezen zob rezkala – lega smeri rezanja proti podajalni smeri neprestano spreminja.

Rezkanje največ uporabljamo za obdelavo ravnih površin. S posebnimi oblikami rezkal lahko obdelujemo tudi ukrivljene površine – s kopirnim rezkanjem lahko oblikujemo poljubno oblikovane površine, če pa uporabljamo profilna rezkala, dobimo tudi v prerezu oblikovane površine (5).

2.4 Računalniško podprta proizvodnja

Računalniško podprta proizvodnja je uporaba računalnikov za nadzor proizvodnega procesa, posebej za nadzor strojev, orodij in robotov v tovarnah. Gre za združevanje računalniškega konstruiranja z računalniško vodenjo proizvodnje. Modeli povezovanja so lahko enostavni ali pa kompleksni, odvisno od želje in možnosti (6).



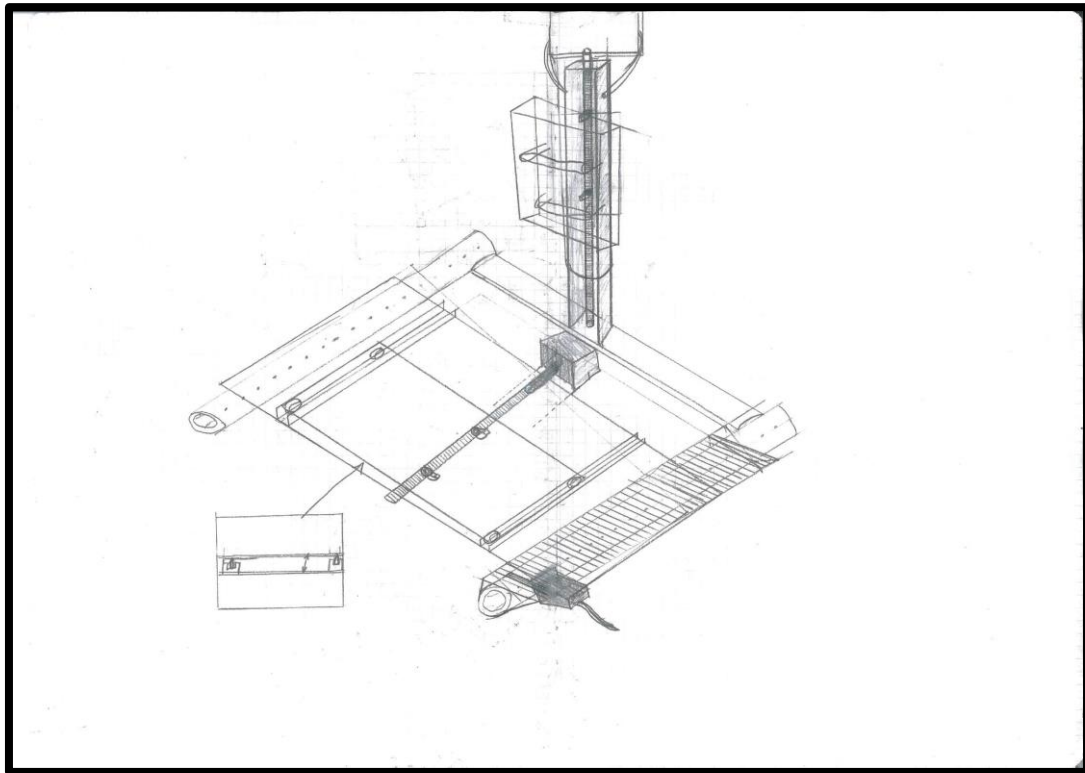
Slika 1: Delovanje celotnega sistema

Za testiranje smo uporabili 32 bitni namizni računalnik s programsko opremo Mach3. Povezali smo ga s paralelnimi vrati (LPT) s 25 pini. V produkcijskem delovanju je računalnik nadomestil Raspberry Pi B+ s programsko opremo GRBL WEB. Raspberry Pi je povezan z osrednjim krmilnikom TB6560 prav tako kot napajanje in rele, ki prižiga in ugaša vrtalnik. Iz kontrolne plošče tečejo tudi trije koračni elektromotorji Nema 23 x, y in z.

3 METODOLOGIJA DELA

3.1 Idejna zasnova

Zamisel o računalniško krmiljenem rezkalniku smo dobili v lanskem šolskem letu, pri pouku tehnike in tehnologije v 8. razredu. Naša naloga je bila izdelati izdelek iz lesa z uporabo ustrezne strojne opreme. To sestavljajo računalnik, program za risanje in krmiljenje stružnice, naprava za obdelavo lesa in vmesnik za povezavo računalnika s stružnico. Ker vsega naštetega nismo imeli na voljo, sem se odločil, da s tem inovativnim projektom poskusim izdelati izdelek, ki je pri pouku ostal zgolj na teoretskem nivoju.



Slika 2: Ročno narisana skica modela računalniško krmiljenega rezkalnika

3.2 Izdelava računalniško krmiljenega rezkalnika

Prvotna zamisel je bila, da bi računalniško krmiljen rezkalnik (v nadaljevanju »RKR«) izdelali na temeljnem okvirju, izdelanem iz PVC vodovodnih cevi. Hitro smo ugotovili, da bi bil tako izdelan okvir premalo trden in preveč tog, kar bi pomenilo nenatančnost pri delovanju celotne RKR. Prav tako bi težavo predstavljalo pritrdjevanje ostalih konstrukcijskih elementov na profile, ki bi bili okrogle oblike. Iz zgoraj navedenih razlogov smo se odločili, da temeljni okvir izdelamo iz pravokotnih aluminijastih profilov 40 x 100 mm, katerih odlike so predvsem majhna teža in trdnost. Tako izdelan ALU okvir ima zunanjo mero 800 x 800 mm (priloga 3).



Slika 3: ALU okvir računalniško krmiljenega rezkalnika

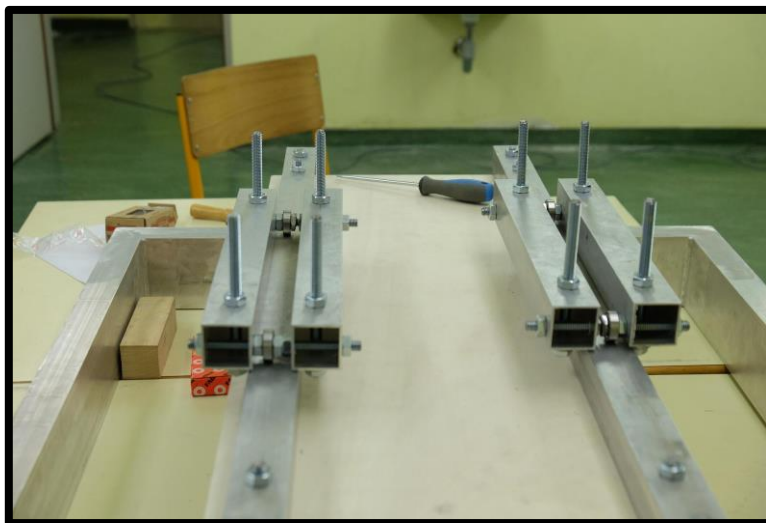
Delovanje RKR temelji na gibanju obdelovanca v smereh X in Y ter v gibanju rezkalnega stroja v smeri Z.

Gibanje obdelovanca zagotavljajo dve pravokotno premikajoči se plošči, nameščeni nad temeljnim okvirjem. Na spodnji strani plošče X (priloga 6) so priviti vozički X (priloga 4), ki s pomočjo gibalnega sistema (priloga 5) omogočajo premikanje plošče X v smeri X.



Slika 4: Plošča X

Gibalni sistem sestavljajo med drugim še navpični vijaki (priloga 1), vodoravni vijaki (priloga 2), navojna palica M10, ležaji 6000-C-2Z ter matice M10.



Slika 5: Gibalni sistem

Kot je razvidno iz slike 3, smo na ploščo X privili dve vodili Y (priloga 7), nujno potrebni za zagotovitev gibanja zgornje plošče Y v smeri Y. Ti dve vodili imata enako nalogo pri premikanju plošče Y, kot jo ima okvir pri premikanju plošče X. Preko gibalnega sistema in s pomočjo vozičkov Y (priloga 8) smo omogočili gibanje plošče Y (priloga 9) v smeri Y.

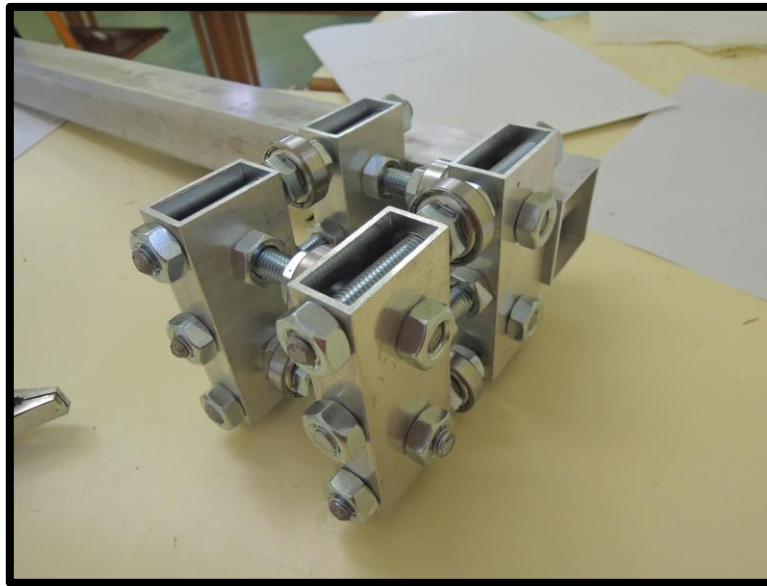


Slika 6: Plošča Y

S tako sestavljenim sklopom smo torej zagotovili gibanje obdelovanca v smereh X in Y.

Gibanje rezkalnika v smeri Z osi (priloga 10) smo izvedli na naslednji način:

Na levo in desno stran spodnjega profila smo z razrezanimi navojnimi palicami in vijaki privili dva metrska profila. Nanj smo nato zaradi razporeditve teže prečno pritrdili dva profila velikosti 20 x 40 x 1000 mm. Med njiju pa smo privili še zadnji profil, na katerem se premika rezkalnik. Kot "voziček" smo uporabili šest ležajev in manjši profil razrezan na štiri dele.

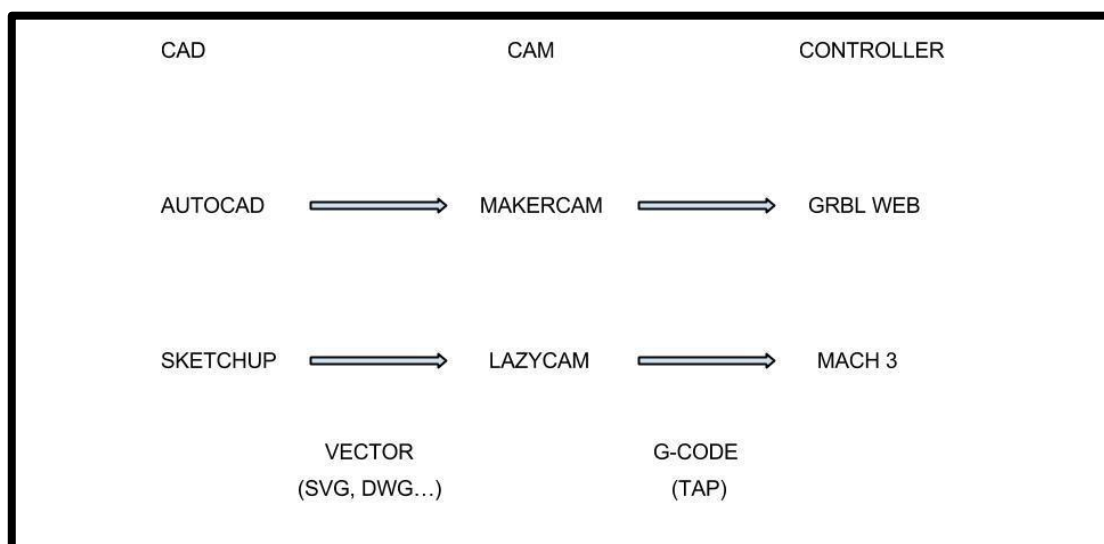


Slika 7: Voziček Z

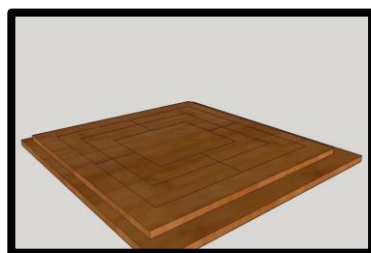
Premikanje tako sestavljenega mehanskega sklopa po oseh X, Y in Z izvajamo s pomočjo programske opreme, kontrolorja ter treh elektromotorjev.

3.3 Računalniško krmiljenje rezkalnika

Računalniško krmiljen rezkalnik smo v testni fazi poganjali z Mach3 na osebnem računalniku, v produkcijski fazi pa s programom GRBLWeb na Raspberi Pi. Gre za programsko kodo v programskem jeziku "G-code". Mach3 pretvori signal, ki ga sprejme kontrolor, ki nadzoruje gibanje koračnih motorjev. Program prav tako nadzoruje delovanje kontrolorja, signalov, ki prihajajo iz računalnika, in signalov, ki prihajajo v računalnik. Nadzira tudi delovanje vseh treh koračnih elektromotorjev, ki jih je zmožen v izrednem primeru tudi takoj ustaviti.



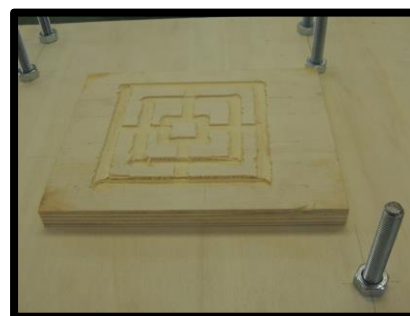
Slika 8: Pretvorba slike v G-code



Slika 9: Posnetek zaslona načrtovanega izdelka v programu SketchUp

```
G0 Z2
G0 X28.7896 Y10.2558
G0 Z0.1
G1 Z-0.1 F100
G1 X28.8448 Y10.2470 F300
G1 X28.8994 Y10.2330
G1 X28.9528 Y10.2139
G1 X29.0042 Y10.1892
G1 X29.0531 Y10.1587
G1 X29.1001 Y10.1238
G1 X29.1439 Y10.0831
G1 X30.0837 Y9.1179
G1 X30.1120 Y9.0856
G1 X30.1155 Y9.0817
G1 X30.1162 Y9.0808
G1 X30.1231 Y9.0729
G1 X30.1574 Y9.0252
G1 X30.1774 Y8.9905
G1 X30.1783 Y8.9890
G1 X30.1786 Y8.9884
G1 X30.1860 Y8.9757
G1 X30.2094 Y8.9236
G1 X30.2195 Y8.8931
G1 X30.2228 Y8.8842
G1 X30.2239 Y8.8799
G1 X30.2272 Y8.8697
G1 X30.2399 Y8.8150
G1 X30.2448 Y8.7757
G1 X30.2456 Y8.7706
```

Slika 10: Posnetek zaslona s programsko kodo v programu LazyCam



Slika 11: Fotografija prvega testnega izdelka

Tudi Mach3 lahko nadzoruje in upravlja z rezkalnikom. S programom lahko ponastavljamo hitrost vrtenja koračnih motorjev. Programsko kodo smo ustvarjali sami s pomočjo programa LazyCam. V program vnesemo vnaprej zrisano sliko iz programa za računalniško podprto načrtovanje (CAD), ki jo nato pretvori v programsko kodo. Trije koračni elektromotorji so povezani s kontrolno ploščo Hyu68 TB6560. Plošča jim dovaja energijo preko nizkonapetostnega izvora ŠI-05 do 24 V in 11 A. Kontrolor je z računalnikom povezan preko LPT kabla s 25 pini. V produkcijski fazi smo uporabili Raspberry Pi, v fazi testiranja pa osebni računalnik.



Slika 12: Elektromaterial

3.4 Tehnološka dokumentacija

Tabela 1: Kosovnica

Zap. št.	Dobavitelj	MATERIAL	KOM	ZNESEK (€)
1	Bauhaus d.o.o.	navojna palica M10 1000 mm	8	10,16
2	Bauhaus d.o.o.	6 kotna matica M10	150	13,39
3	Merkur d.d.	aluminijast okvir (800 x 800 x 100 mm)	1	14,92
4	Bauhaus d.o.o.	vezana plošča 15 mm (890 mm x 360 mm)	2	18,84
5	Bell d.o.o.	ležaj 6000-C-2Z	36	101,16
6	Merkur d.d.	aluprofil (40 x 40 x 1000 mm)	8	20,89
7	Merkur d.d.	aluprofil (20 x 40 x 1000 mm)	2	2,92
8	http://www.ebay.com/itm/CNC-Set-3-Achsen-TB6560-Steuerungskarte-3-X-Schrittmotoren-1-26Nm-NEMA23-/351251762542	Stepper motors, matična plošča TB6560	1	114,69
9	http://si.farnell.com/raspberry-pi/raspberry-modb-512m/raspberry-pi-model-b-board/dp/2431426	Raspberry Pi B+	1	32,10
10	mimovrste.com	Pomnilniška kartica micro SD 16GB	1	8,99
SKUPAJ				338,06

3.5 Programska oprema

1. **Windows XP 32 bit** – šolska licenca po pogodbi med MIZŠ in Microsofta (7).
2. **Mach3** – DEMO, ki je za neprofitne organizacije brezplačen in omogoča le programe, krajše od 500 vrstic (8).
3. **LazyCam** – DEMO, ki je za neprofitne organizacije brezplačen in omogoča le programe, krajše od 500 vrstic (8).
4. **SkechUp Make 2015** – brezplačen (9).
5. **MakerCam** – odprtokoden, Beta različica (10).
6. **GRBLWeb** – odprtokoden (11).

4 REZULTAT

Inovativni projekt je v tej fazi pokazal, da je kljub omejenim finančnim sredstvom moč izdelati tehnološko dovršen in zelo uporaben izdelek, ki bi ga osnovne in srednje šole v prihodnje lahko uporabljale kot učni pripomoček. Vse sestavne dele je moč kupiti v prosti prodaji, sestava samega učnega pripomočka pa je lahko izziv tako za učitelje kot učence na različnih šolskih področjih. Izvedba projekta je pokazala, da gre v prvi vrsti za velik izziv na tehničnem področju, saj je mehanski sklop relativno zapleten in zahteva veliko mero natančnosti pri njeni izdelavi.

Drugi izziv predstavlja programski del naloge, saj od izvajalcev zahteva obvladovanje specializirane programske opreme ter precejšnjo mero splošnega računalniškega znanja. Uspešnost delovanja tega sklopa je pogojena s sodobno računalniško opremo.

Tretji in največji izziv pa je zagotovo v tem, da je mehanski in računalniški sklop potrebno povezati v uporabno in učinkovito celoto. Samo na ta način bodo šole lahko izkoristile ogromen didaktični potencial, ki ga tovrstni izdelki imajo, saj smo prepričani, da gospodarska prihodnost temelji na tovrstnih načinih poučevanja.

Idejna zasnova za izdelavo računalniško krmiljenega rezkalnika je temeljila na okvirju, izdelanem iz plastičnih vodovodnih cevi. Prednosti takšne zasnove smo videli predvsem v majhni teži in preprosti obdelavi materiala. Vendar se je zamisel hitro izkazala kot neprimerna, saj je bilo potrebno zagotoviti veliko trdnost in togost celotne konstrukcije. Zato smo se odločili za uporabo aluminijastih profilov, ki so še zmeraj cenovno sprejemljivi, ob tem pa zagotavljajo prej navedene tehnične lastnosti. Iz enakega razloga smo vse elemente, potrebne za premikanje plošč v različne smeri, izdelali iz aluminijastih profilov in s kvalitetnimi krogličnimi ležaji.

Že med konfiguriranjem LPT vhoda so se kot predvideno pojavljale težave. Kabel se je začel med testi nenavadno pregrevati. Da bi odkrili težavo, smo prerezali dva stara LPT kabla in ju priklopili z LED lučkami. Ugotovili smo, da so po vsakem od kablov informacije prehajale drugače. Na enem od kablov 25 pin niti ni deloval. Za pretvorbo iz SkechUp Make v programsko kodo smo uporabili program MakerCam, ki je zelo enostaven za uporabo.

Pri testih smo uporabili rezkalnik, katerega obrati so bili nastavljeni na 1800 obratov/min. z lesnim rezkarjem premera 8 mm. Za testni material smo uporabili vezano ploščo debeline 25 mm iz mehkega lesa. Globina rezkanja je bila nastavljena na 5 mm. Izkazalo se je, da rezkanje teče bolj gladko v smeri letnic kot pravokotno na njih.

5 DRUŽBENA ODGOVORNOST

Izdelek, ki je plod tega inovativnega projekta, je računalniško krmiljen rezkalnik, ki bi se v osnovnih šolah lahko uporabljal kot visoko zmogljivo in cenovno dosegljivo učno sredstvo. Razvoj današnjega časa temelji na visokokvalitetni ter računalniško podprti proizvodnji, in da je temu res tako, potrjuje dejstvo, da učni načrt 8. razredov osnovnih šol predvideva med drugim tudi računalniško podprto izdelavo (CAM) izdelkov. Prepričani smo, da je zgodnje spoznavanje visoke tehnologije ključno pri razvoju mladostnikov, ki želijo svoje poklicne poti nadaljevati znotraj gospodarstva in ob uporabi proizvodne tehnologije. V današnjem času je uspeh na trgu mogoč le v primeru, da je na voljo ustrezna tehnologija in ustrezno izobražen kader, sposoben s takšno tehnologijo upravljati ter jo ustrezno in z lastnim znanjem nadgrajevati. Ves čas smo stremeli k izvedbi, ki bi bila večini osnovnih in srednjih šol tehnično in finančno sprejemljiva. Varnost tako izdelanega računalniško krmiljenega rezkalnika je na najvišjem možnem nivoju, ne gre pa prezreti niti dejstva, da je takšen rezkalnik ekološko več kot sprejemljiv, saj lahko šole z njim same izdelujejo različne okrasne izdelke (okvirji za slike, tablice z napisi ...) in učne pripomočke (sestavljanke, igralne kocke, stavnice ...) iz odpadnega materiala – reciklirajo staro pohištvo.

6 ZAKLJUČEK

Namen inovativnega projekta je bil izdelati učinkovito, uporabno, tehnološko visoko zmogljivo in relativno poceni učno sredstvo. Upoštevajoč vse rezultate pridemo do zaključka, da je njegovo načrtovanje in izdelava zahtevala precej inovativnosti, iznajdljivosti, natančnosti, truda in časa. Prepričani smo, da izdelek v resničnem življenju lahko zaživi ter da ima potencial za uspeh. Prav zaradi tega smatramo računalniško krmiljen rezkalnik samo kot vmesno fazo, saj želimo v prihodnje izdelek razviti in izpopolniti do te mere, da bo njegova izdelava ob natančnih navodilih za sestavo karseda enostavna in da bo njegova uporaba v šolah obrodila sadove pri naslednjih generacijah.

7 VIRI

1. **Več avtorjev.** Slo tech. *Raspberry Pi*. [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.] <https://slo-tech.com/forum/t508421>.
2. **Portal Slo-Pi.** O Raspberry Pi. *Slo-pi*. [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.] <http://slo-pi.com/o-raspberry-pi>.
3. **Wikimedia Foundtion.** Linux. *Wikipedia*. [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.] <http://en.wikipedia.org/wiki/Linux>.
4. **Robas, Jan.** Predstavitev operacijskega sistema Linux. *RSO TSC Kranj*. [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.] http://rso.tsckr.si/RSM3/linux_robass.pdf.
5. **Srednja tehniška šola Koper.** Rezkanje (Frezanje). *Projekt Tehnologija na internetu*. [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.] <http://www2.sts.si/arhiv/tehnoprojekt2/r1.htm>.
6. **Fošnarič, Samo in et al.** *Tehnika in tehnologija 8. Učbenik za 8. razred devetletne osnovne šole*. Limbuš : Izotech, 2012.
7. **Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport.** Okrožnica o uporabi programske opreme Microsoft za zobraževalne ustanove. *Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport*. [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.] http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/drugo/Uporaba_programske_opreme.pdf.
8. **ArcSoft.** Downloads & Updates. *ArcSoft*. [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.] <http://www.machsupport.com/software/downloads-updates/>.
9. **SketchUp.** SketchUp Make. *SketchUp*. [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.] <http://www.sketchup.com/products/sketchup-make>.
10. **Quio, Jack.** About. *MakerCam*. [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.] <http://www.makercam.com/about.html>.

11. **XYZBots.** GRBLWeb. *XYZBots.* [Elektronski] [Navedeno: 10. 2 2015.]
<http://xyzbots.com/grblweb.html>.

8 KAZALO SLIK

Slika 1: Delovanje celotnega sistema	9
Slika 2: Ročno narisana skica modela računalniško krmiljenega rezkalnika	10
Slika 3: ALU okvir računalniško krmiljenega rezkalnika.....	11
Slika 4: Plošča X.....	12
Slika 5: Gibalni sistem	12
Slika 6: Plošča Y.....	13
Slika 7: Voziček Z.....	14
Slika 8: Pretvorba slike v G-code	15
Slika 9: Posnetek zaslona načrtovanega izdelka v programu SketchUp.....	15
Slika 10: Posnetek zaslona s programsko kodo v programu LazyCam	15
Slika 11: Fotografija prvega testnega izdelka	15
Slika 12: Elektromaterial.....	16

Vse slike oziroma fotografije uporabljene v inovativnem projektu so iz lastnega arhiva.

9 KAZALO TABEL

Tabela 1: Kosovnica	17
---------------------------	----

10 PRILOGE

Priloga 1: Navpični vijak (merilo:1:1, pogled: stranski ris)

Priloga 2: Vodoravni vijak (merilo:1:1, pogled: stranski ris)

Priloga 3: Okvir (merilo: 1:4, pogled: tloris)

Priloga 4: Spodnji voziček (merilo: 1:1, pogled: tloris, naris, stranski ris)

Priloga 5: Sistem (merilo: 1:1, pogled: stranski ris)

Priloga 6: Plošča X (merilo: 1:3, pogled: tloris, naris)

Priloga 7: Vodilo Y (merilo: 1:3, pogled: tloris, naris, stranski ris)

Priloga8: Voziček Y (merilo: 1:1, pogled: tloris, naris, stranski ris)

Priloga 9: Plošča Y (merilo: 1:2, pogled: tloris, naris)

Priloga 10: Voziček Z (merilo: 1:1, pogled: tloris, naris, stranski ris)