

ŠOLSKI CENTER VELENJE  
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA  
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA  
**KORAČNI IN BREZKRTAČNI MOTOR**

Tematsko področje:  
Elektrotehnika, elektronika

Avtorja:  
Matej Oder, 4. letnik  
Boštjan Urbanc, 4. Letnik

Mentor:  
Zvone Cencen, dipl. inž.

Velenje, 2013

Oder M., Urbanc B. Koračni in brezkrtačni motor  
Raziskovalna naloga, Elektro računalniška šola Velenje, 2013

Raziskovalna naloga je bila opravljena na ŠČ Velenje, Elektro in računalniška šola 2013.

Mentor: Zvone Cencen, dipl. inž. elektrotehnike

Datum predavitve:

## KLJUČNA DOKUMENTACISJKA INFORMACIJA

ŠD Elektro in računalniška šola Velenje, 2012/2013

KG Elektrotehnika/elektronika

AV ODER, Matej; URBANC, Boštjan

SA CENCEN, Zvone

KZ 3320 Velenje

ZA ŠČ Velenje, Elektro in računalniška šola, Trg mladosti 3, Velenje

LI 2013

IN Koračni in brez krtačni motor

TD Raziskovalna naloga

OP 28 str., 19sl., 2 pril., 7 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI Namen najine raziskovalne naloge je bil, da ugotoviva čim več o brez krtačnih in koračnih motorjih, saj si brez njih ne predstavljamo današnjega življenja, saj se uporabljajo v mnogih strojih. Najin cilj pri tej raziskovalni nalogi je bil, da ugotoviva ali lahko zamenjamo popolnoma vsak koračni motor z brez krtačnim motorjem.

## **KEY WORDS DOCUMENTATION**

ND ŠCV 2012/2013

CX Electrical / Electronics

AU ODER Matej;URBANC Boštjan

PP 3320 Velenje

PB Šolski center Velenje, School of Electrical Engineering and Computing

PY 2013

TI Using NXT position in the real world

DT RESEARCH WORK

NO 28 p., 19 fig., 2 ann.,7 ref.

LA SL

AL sl/en

AB The purpose of our research was to find out all about brushless and stepper motors. Without them we can not imagine life today, because they are used in many machines. Our aim in this research project was to find out if we can completely replace a stepper motor with a brushless motor.

## Kazalo

Ključna dokumentacijska informacija	2
Key words documentation	3
Kazalo	4
Kazalo slik	5
1.    Uvod	6
1.1  Hipoteze	6
2.    Koračni motorji	7
2.1  Delitev koračnih motorjev	8
2.2  Unipolarni koračni motorji	9
2.3  Bipolarni koračni motorji	10
2.4  Način korakanja	11
2.4.1 Valovni pogon ( Wave drive )	11
2.4.2 Polni korak ( full step )	12
2.4.3 Polovični korak (Half step )	13
2.4.4 Mikro korak ( Micro step )	14
2.5  Priklop koračnega motorja na krmilnik	15
2.5.1 Program koračnega motorja	16
3.    Brez krtačni motorji	17
3.1  Opis brez krtačnih motorjev	17
3.2  Prednosti in slabosti brez krtačnih motorjev	18
4.    Krmilnik AVR	19
5.    Primerjava koračnega in brez krtačnega motorja	20
6.    Razprava	23
7.    Zaključek	24
8.    Povzetek	25
9.    Zahvala	26
10.   Priloge	27
11.   Viri in Literatura	28

## **Kazalo slik**

Slika 1: Koračni motor Bipolarni	7
Slika 2: princip delovanja unipolarnega koračnega motorja	9
Slika 3: Unipolarni koračni motor	9
Slika 4: Princip delovanja bipolarnega koračnega motorja	10
Slika 5: Navitje bipolarnega koračnega motorja	11
Slika 1: Shema delovanja koračnega motorja v polnem koraku	12
Slika 7: Prvi korak koračnega motorja	12
Slika 8: Drugi korak koračnega motorja	12
Slika 9: Tretji korak koračnega motorja	12
Slika 10: Četrti korak koračnega motorja	12
Slika 11: Shema delovanja koračnega motorja v polovičnem koraku	13
Slika 12: Prvi korak koračnega motorja	13
Slika 13: Drugi korak koračnega motorja	13
Slika 14: Tretji korak koračnega motorja	13
Slika 15: Četrti korak koračnega motorja	13
Slika 16: priklop koračnega motorja na krmilnik	15
Slika 17: Program koračnega motorja	16
Slika 18: Zgradba brez krtačnega motorja	17
Slika19 : Krmilnik AVR	19

## **1. Uvod**

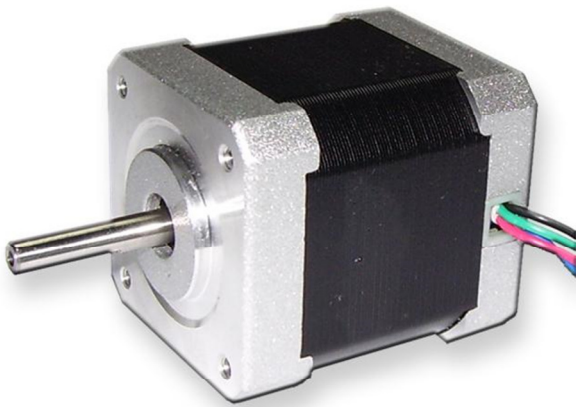
Za naslov raziskovalne naloge sva si izbrala brezkrtačni in koračni motor. Idejo sva dobila, ko sva se v šoli pogovarjala, kako popraviti stari tiskalnik za tiskanje A4 formata. Ker se nama je to zdelo primerno za raziskovalno nalogo, sva to prenesla do profesorja, ki nama je povedal še nekaj več o teh dveh vrstah motorjev. Naloga se nama je zdela primerna za raziskovalno nalogo, zato sva se začela podrobneje zanimati o koračnem in brezkrtačnem motorju. Te dve vrsti motorjev sta najpogosteje uporabljeni v sedanjih pogonskih sistemih. Seveda imata vsak po svoje dobre in slabe lastnosti, za katere sva potrebovala veliko predznanja, da sva lahko primerjala in raziskovala razlike. Vse to predznanje sva morala osvojiti na novo, saj v šoli nismo obravnavali veliko o teh dveh motorjih. O tej temi nisva našla veliko gradiva v slovenskem jeziku, zato sva morala to prevesti iz tujih jezikov. Za slovensko primerjavo sva povprašala tudi slovenske proizvajalce, ti pa so dejali, da v slovenskem jeziku ne bova našla nič koristnega za najino raziskovalno nalogo.

### **1.1 Hipoteza**

Hipoteza 1: V današnjem času je vse več starih naprav, katere uporabljajo za svoje delovanje koračni motor, trdimo pa, da je možno zamenjati popolnoma vsak koračni motor z brezkrtačnim motorjem.

## 2. Koračni motorji

Koračni motorji so električni motorji brez krtačk. Krtačke so pogost vir okvare pri električnih motorjih, zato imajo motorji brez krtačk zagotovljeno bistveno daljše delovanje, kot tisti, ki jih imajo. Zaradi tega je uporaba koračnih motorjev primerna tam, kjer se zahteva nepretrgano delovanje in delovanje brez okvar. Ob predpostavki, da se koračni motor zaradi prevelikih obremenitev pri delovanju ne zaustavi, oziroma, da ne spodrsava, lahko pravilno nadzorujemo tako hitrost in smer vrtenja, kot tudi položaj rotorja, brez uporabe povratne povratnega mehanizma ali senzorjev. To je pomembna lastnost, ker takšni mehanizmi stanejo vsaj toliko, kot sam koračni motor.

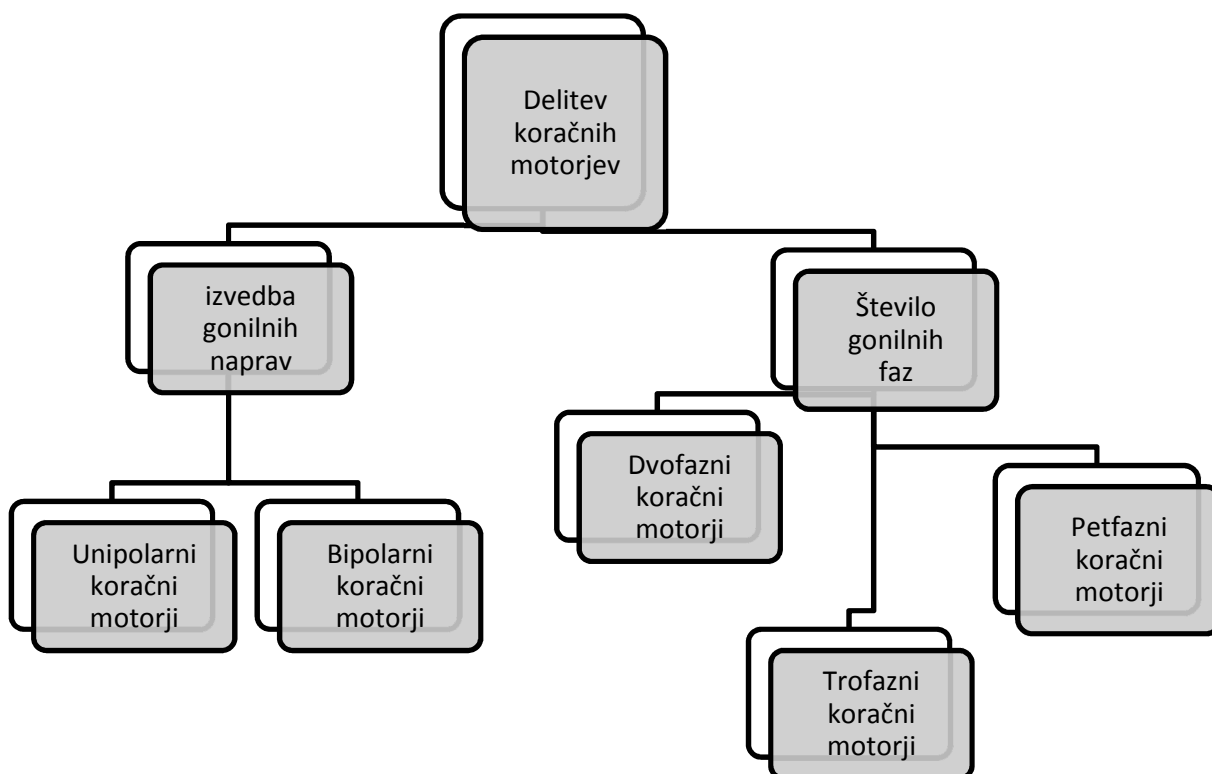


**Slika 1: Koračni bipolarni motor**



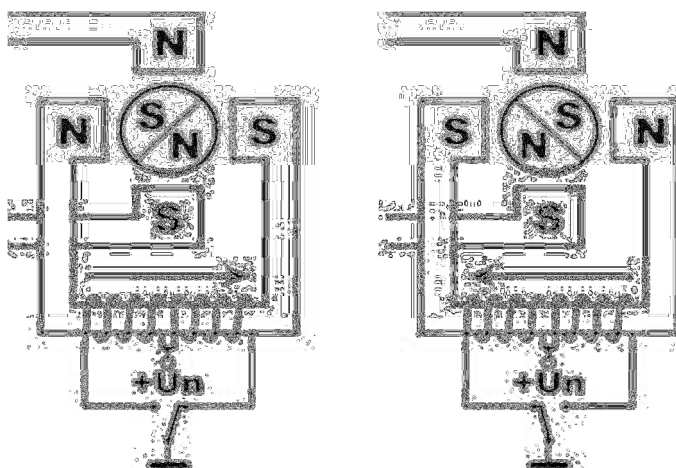
## 2.1. Delitev koračnih motorjev

Koračne motorje delimo glede na izvedbo gonilnih naprav in število gonilnih faz.



## 2.2 Unipolarni koračni motorji

Unipolarni koračni motorji so sestavljeni iz dveh ločenih tuljav za eno fazo, s čimer je omogočeno enostavnejše krmiljenje tuljav ene faze. Tako v načinu polnega ali polovičnega koraka potrebujemo le dva tranzistorja. S tem je krmilna elektronika cenejša, vendar pa imajo ti motorji v primerjavi z bipolarnimi motorji iste velikosti, manjši vrtilni in držalni moment. Ta posledica izvira iz dejstva, da je naenkrat priključena le polovica navitja, ki je na razpolago v motorju za eno fazo, to pomeni manjše magnetno polje. Če navitji 1 in 2 ene faze vežemo zaporedno, lahko motor uporabimo kot bipolarni motor, a ima takšen motor še vedno slabše lastnosti kot enak bipolarni motor. Slabše lastnosti so posledica večje induktivnosti in upornosti skupnega navitja. Tako bo imel motor pri nizkih vrtiljajih podobne lastnosti kot bipolarni, vendar ga bomo morali krmiliti z večjo napetostjo, navor pa bo zaradi povečane induktivnosti pri večjih vrtiljajih strmo padel.



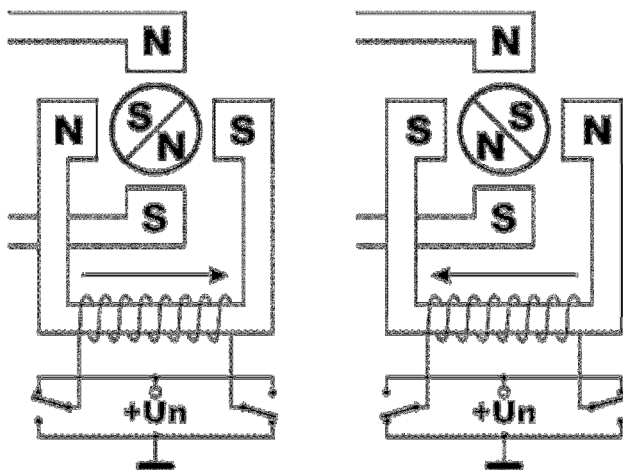
Slika 2: princip delovanja unipolarnega koračnega motorja



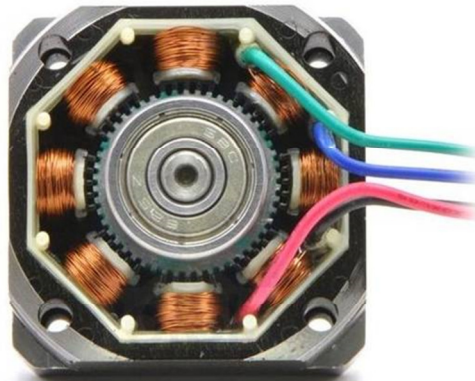
Slika 3: Unipolarni koračni motor

## 2.3 Bipolarni koračni motorji

Bipolarni koračni motorji imajo za razliko od unipolarnih koračnih motorjev za vsako fazo po eno tuljavo. Zaradi tega je elektronika za njihovo krmiljenje malo bolj kompleksna, zato potrebujemo za eno fazo pri enojnem napajanju štiri tranzistorje vezane v mostič vezavo. Pri simetričnem napajanju  $\pm$  pa dva tranzistorja vezana v polovično mostič vezavo. Vendar pa to danes ni več tolikšna ovira, ker je na tržišču polno integriranih vezij z integriranim tranzistorskim ali MOS-FET mostičem. Bipolarni motor ima v primerjavi z unipolarnim motorjem več prednosti. Zaradi enega samega navitja na fazo je ta žica lahko debelejša, tako da je upornost manjša, kar pomeni večje tokove in manjše napetosti. Zaradi tuljave iz debelejša žice in malo ovojev je tudi induktivnost takšne tuljave dosti manjša od tuljave pri unipolarnih motorjih, kar pomeni večji navor pri višjih vrtljajih. Ker ima žica pri bipolarnih motorjih dvakrat večji presek, lahko povečamo tok skozi tuljavo za 1,4 krat, kar pomeni za 40% večji navor tudi pri nizkih vrtljajih. Prednost bipolarnega motorja proti unipolarnem je tudi v tem, da ima le-ta dosti manjše izgube zaradi manjše realne upornosti tuljave, ki s tokom, ki teče skozi njo le segreva motor in ne povzroči nobenega prirastka k magnetnemu polju.



Slika 4: Princip delovanja bipolarnega koračnega motorja



[www.pololu.com](http://www.pololu.com)

**Slika 5: Navitje bipolarnega koračnega motorja**

## 2.4 Načini korakanja

V grobem lahko razdelimo načine korakanja na štiri načine:

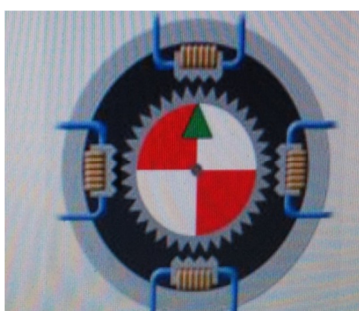
- valovni pogon (wave drive),
- polni korak (full stepp),
- polovični korak (half step)
- mikro korak (micro stepp) – 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 polnega koraka

### 2.4.1 Valovni pogon

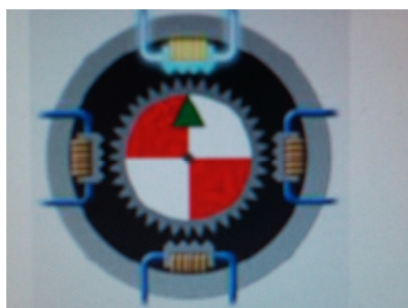
Valovni pogon je najosnovnejši način vrtenja koračnega motorja, pri tem načinu je samo eno navitje priključeno naenkrat, zato ima motor manjšo moč, kot, če ga vrtimo s polnim korakom. Motor, ki ga vrtimo z valovnim pogonom tudi povzroča vibracije, ker rotor drži le ena faza. Zato so oscilacije rotorja ob prehodu v novi korak velike in takšen koračni motor povzroča veliko hrupa.

## 2.4.2 Polni korak

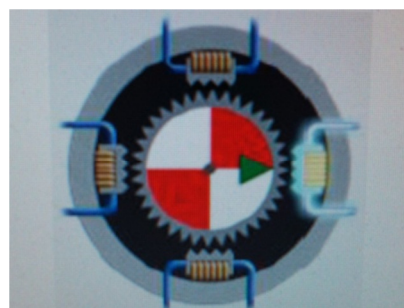
Polni korak je korak, ki ga motor naredi ob eni spremembi toka skozi navitje A in B. Polni korak je tudi standard za podajanje natančnosti koračnega motorja in se podaja v kotnih stopinjah. Na primer tipični dvofazni koračni motor ima polni korak v velikosti  $1,8^\circ$ , kar pomeni 200 polnih korakov na obrat. Pri polnem koraku ima motor tudi največjo moč, uporablja se povsod, kjer ni potrebna pretirana natančnost, temveč je prvega pomena moč motorja. Razen majhne natančnosti pri polnem koraku je slabost tudi ta, da pri povečevanju frekvence korakov do bližine meje padanja navora, pride motor v resonanco in skoraj isto izgubi moč. Isti pojav se zgodi še tik pred mejo padanja navora, vendar ta padec ni več izrazit.



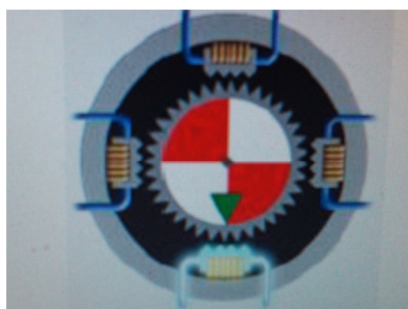
Slika 2: Shema delovanja koračnega motorja v polnem koraku



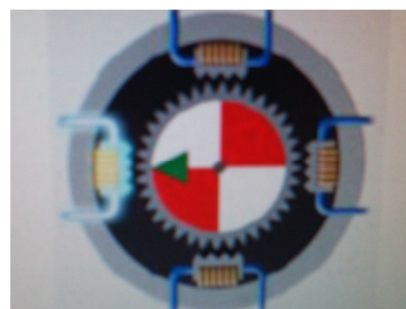
Slika 7: Prvi korak koračnega motorja



Slika 8: Drugi korak koračnega motorja



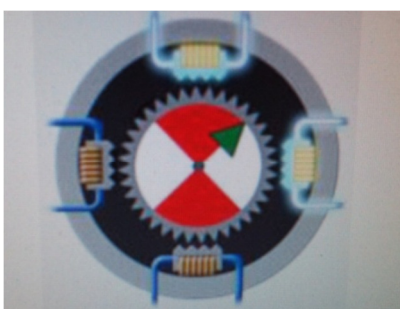
Slika 9: Tretji korak koračnega motorja



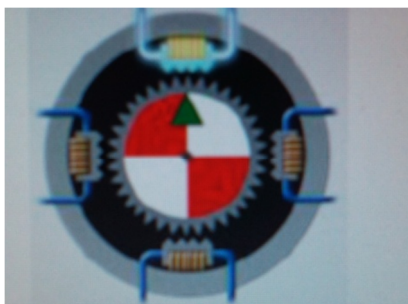
Slika 10: Četrty korak koračnega motorja

### 2.4.3 Polovični korak

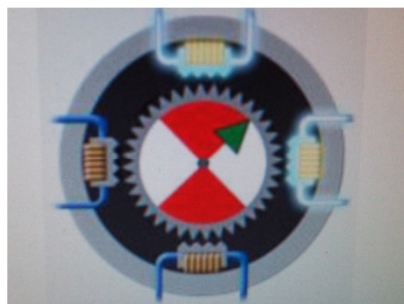
Polovični korak (half step) kot že ime pove, je polovica celotnega koraka. Torej, če imamo  $1,8^\circ$  motor, lahko njegovo natančnost povečamo na  $0,9^\circ$ . Težava tega načina korakanja je v tem, da takrat, ko je ena faza izklopljena pade navor motorja za približno 40%. Ta pojemek navora moramo upoštevati tudi takrat, kadar mora motor v mirovanju držati nekakšno silo. Da motor opravlja polovične korake, lahko dosežemo tudi tako, da navitji krmilimo s sinusno napetostjo. S takšnim krmiljenjem razpolovimo natančnost motorja brez izgube ali neenakomernosti navora pri vrtenju. Kompenziran polovični korak ne povzroča vibracij, izognemo pa se tudi lastni resonanci motorja. Kompenziran polovični korak dobimo tako, da pomnožimo fazne tokove z 1,4.



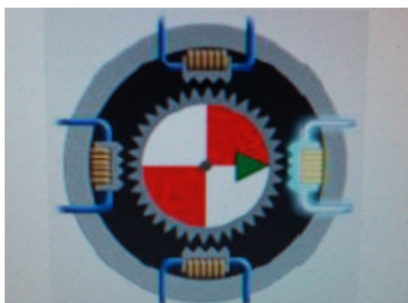
Slika 11: Shema delovanja koračnega motorja v polovičnem koraku



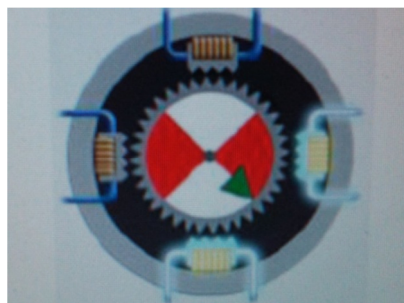
Slika 12: Prvi korak koračnega motorja



Slika 13: Drugi korak koračnega motorja



Slika 14: Tretji korak koračnega motorja

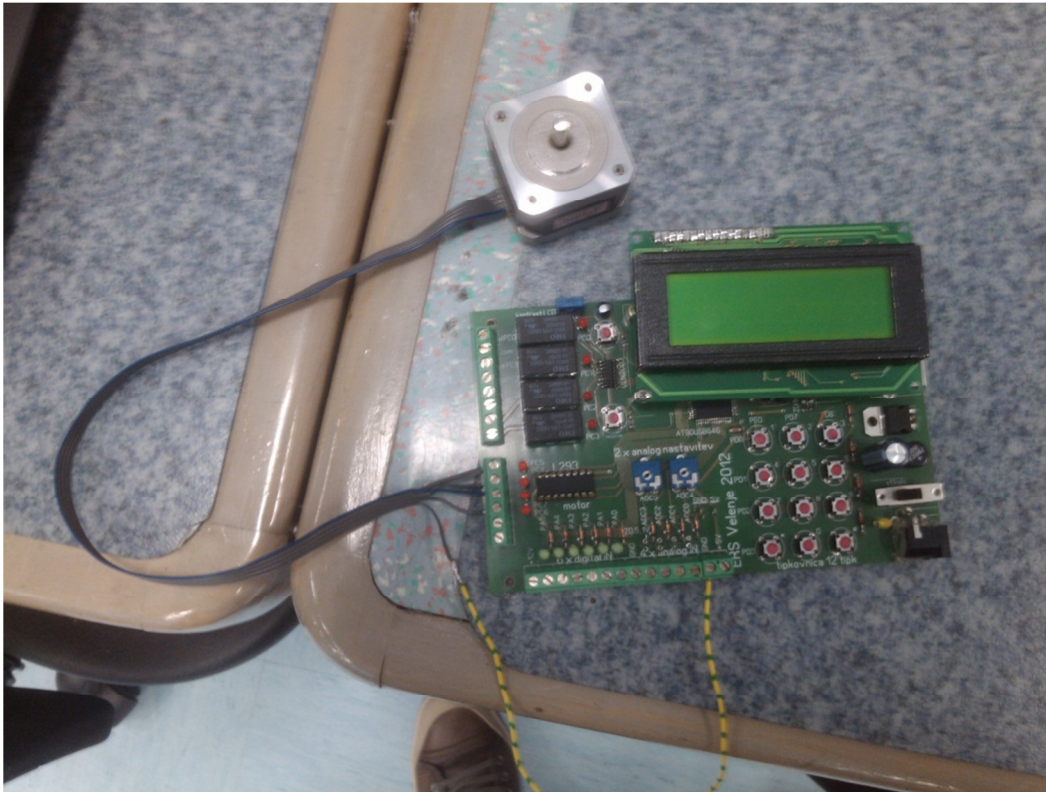


Slika 15: Četrty korak koračnega motorja

#### **2.4.4 Mikro korak**

Eno četrtnski mikro korak predstavlja štiri krat večjo natančnost proti polnemu koraku tako, da če nadaljujemo  $1/8$ ,  $1/16$ ,  $1/32$  se natančnost premo sorazmerno povečuje. Najnatančnejša profesionalna krmilja visoko preciznih obdelovalnih strojev zmorejo natančnost tudi tja do  $1/128$  polnega koraka. Moramo pa paziti, da motor takšne mikro korake podpira, ker večinoma statorji motorjev niso narejeni dovolj natančno za tako majhne korake. Eno četrtnski in natančnejši mikro koračni načini imajo še boljše lastnosti glede enakomernosti navora med vrtenjem kot kompenziran pol koračni način.

## 2.5 Priklop koračnega motorja na krmilnik



Slika 16 : Priklop koračnega motorja na krmilnik



## 2.5.1 Program koračnega motorja

```
$regfile = "usb646.dat"| "Tukaj je napisano kateri čip se uporablja"  
$crystal = 8000000 "Tukaj je defineran quratz2"  
  
Do "Začetek Programa"  
Set PORTC.7 " Tukaj vklopimo prvo navitje"  
    Waitus 500 "Tukaj počakmo 500 mikrosecund preden izklopimo prvo navitje"  
Reset PORTC.7 "Tukaj prvo navijte izklopimo"  
Set PORTC.6 "Tukaj pa se program naprej samo ponavlja"  
    Waitus 500  
Reset PORTC.6  
Set PORTC.5  
    Waitus 500  
Reset PORTC.5  
Set PORTC.4  
    Waitus 500  
Reset PORTC.4  
  
Loop "Ukaz za ponavljanje programa"  
End "Ukaz konec programa"
```

Slika 17: Program koračnega motorja

### 3. Brezkrtačni motor

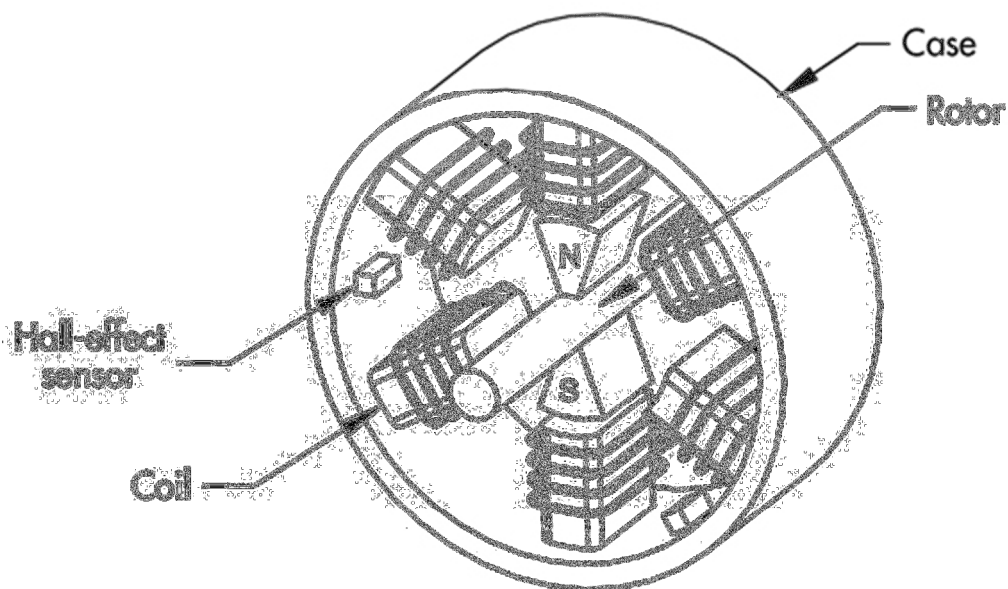
Brezkrtačni motor je elektromotor s trajnimi magneti. Za razliko od krtačnega motorja, ne rabi električnega stika na drsnih obročih motorske gredi za delovanje (od tod ime).

Preklapljanje el. toka na navitjih se ne izvaja več mehansko (preko drsnih obročev), temveč elektronsko. Posledica tega so nižja mehanska odpornost, odpravljanje možnosti iskrenja, ki bi nastalo zaradi večje hitrosti vrtenja, in bistveno zmanjša potrebo po rednem vzdrževanj.

#### 3.1 Opis brezkrtačnih motorjev

V krtačnem motorju, mehanski stik ščetk z drsnim obročem na rotorju zaključí električni krog med napajanjem in navitjem rotorja.

V brezkrtačnem motorju je povratni tok pridobljen elektronsko, preko močnostnih tranzistorjev nadzorovanih z mikro krmilnikom, ki krmili preklapljanje el. toka. Ker mora krmilnik poznati položaj rotorja glede na stator, je običajno priklopljen na Hall senzor, kot je na primer pick-up, ali pa še bolj natančen resolver.



Slika 18: Zgradba brez krtačnega motorja

### 3.2 Prednosti in slabosti brezkrtačnih motorjev

Prednosti:

Prva večja prednost se nanaša na pričakovano življenjsko dobo motorja, saj so ščetke "šibka točka" elektromotorja. Odsotnost ščetk odpravi tudi glavni vir elektromagnetnega hrupa, ki je prisoten v ostalih elektromotorjih.

Okornost motorjev ni primerljiva glede na moč ki jo zagotovijo, predvsem pa na navor teh motorjev. Z vidika učinkovitosti so brezkrtačni motorji vedno v stanju za optimalno delovanje; imajo tudi boljši izkoristek, saj ni rotorskega magnetnega polja.

Prav tako navitja na statorju z lahkoto razpršijo nastalo toploto in omogočijo gradnjo "gladkih" motorjev, brez zunanjih reber.

Odsotnost isker je ključnega pomena kadar motor deluje v nasičenem okolju z hlapnimi kemikalijami, kot so goriva.

Pri tej vrsti motorjev so trajni magneti nameščeni na rotorju in so narejeni iz posebnih materialov, ki omogočajo zelo nizko vztrajnost rotorja, kar omogoča zelo natančen nadzor hitrosti in pospeška.

Zaradi teh lastnosti so primerni za uporabo v CD in DVD predvajalnikih, in tudi, v večjih različicah v modelarstvu (helikopterstvo, navtika) v električnih vozilih. Običajno so brezkrtačni motorji za ta področja trifazni.

Zaradi povečanega povpraševanja na trgu po izdelkih z visoko energetske učinkovitostjo za gospodinjstva, so ti motorji zadnje čase bili uvedeni na trg klimatskih in hladilnih naprav, kjer so lahko zelo koristni zaradi male porabe energije in dobrega izkoristka.

Obstajajo navtične aplikacije takšnih motorjev s tehnologijami superprevodnikov ki imajo velike moči (tudi nekaj MW - megawattov).

Zadnje čase se pogosto uporabljajo v industriji, kjer so nameščeni na avtomatskih strojih, ki potrebujejo precizne in hitre gibe in so večnamenski. Vse to omogočajo določene nadzorne naprave, ki so zelo sofisticirane in omogočijo popoln nadzor nad motorjem.

Slabosti:

Glavna slabost teh motorjev je v ceni. Za razliko od krtačnih motorjev, nadzor poteka elektronsko preko controller-ja, ki se ga nabavi posebej; zato praviloma ni možno uporabljati potenciometer ali reostat (tip rezistorja) za regulacijo hitrosti.

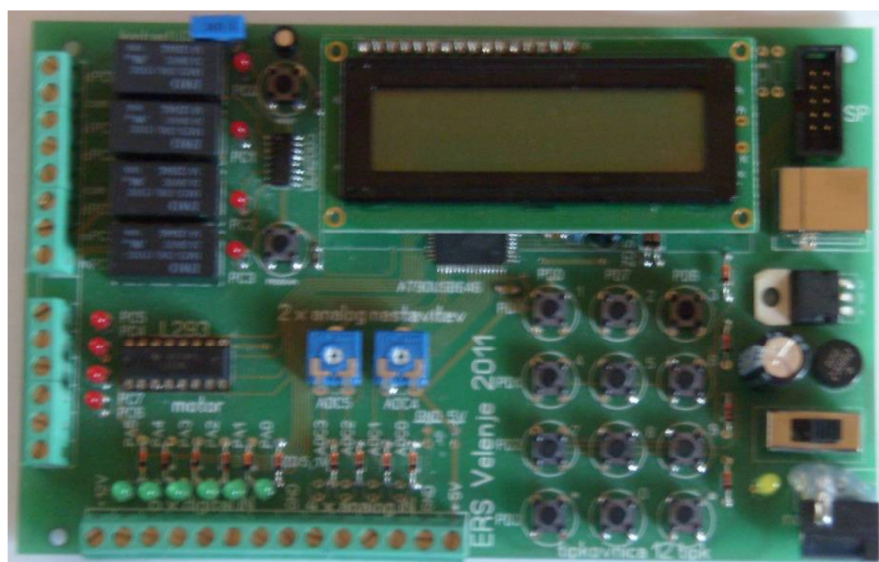
#### 4. Krmilnik AVR

Krmilno vezje je sestavljeno iz krmilnika AVR, ki krmili celotno konstrukcijo in hkrati skrbi za komunikacijo med krmilnim vezjem in računalnikom, s pomočjo katerega je nadzorovan motor. Krmilnik sva izdelala v 3. letniku.

Na krmilniku imamo čip L293, s katerim krmiliva motorja. Za komunikacijo med računalnikom in krmilnikom imamo USB priključek. Na desni strani krmilnika imava relejske izhode, ki dajo kontakte. Na desni spodaj pa so 4 tranzistorski izhodi. Spodaj so sponke - 4 so za vhode, 4 pa za analogne vhode. Na krmilniku je še tipkovnica in LCD prikazovalnik.

Relejski izhodi

Tranzistorski izhodi



Digitalni izhodi

4 analogni vhodi

Tipkovnica

Slika19 : Krmilnik AVR

## 5. Primerjava koračnega in brezkrtačnega motorja

V mnogih pogledih sta koračni in brezkrtačni motor enaka. Razlog je predvsem to, da oba omogočata ohranjanje prostega delovanja zaradi odprave krtačk in komutatorjev. Osnovna razlika pa je sicer v tem, da koračni motor deluje na odprti električni zanki, delovanje brezkrtačnega motorja pa temelji na zaprti zanki. To pomeni, da brezkrtačni servomotor omogoča realen časovni odziv pogonskemu ojačevalniku in tako uskladi napetost in tok, medtem ko koračni motor tega nima.

Koračni motorji:

Delovanje koračnega motorja poteka ob izmenjavi toka skozi diskretno navitje statorja, ki vodi do sinhroniziranega vrtenja rotorja. To je narejeno ob predpostavki, da rotorska gred ohranja hitrost sorazmerno s frekvenco impulzov komutacije. Pri tem ni dejanskega odziva, ki bi omogočal, da motor ohranja hitrost glede na želeno zaporedje gibanja. Če zunanja obremenitev sistema preseže navor motorja, se bo le ta ustavil. Če je motor v teku, ko se to zgodi, se ne bo mogel ponovno zagnati tudi, če obremenitev izgine, dokler se pogostost menjav ne zmanjša do točke, na kateri ima motor dovolj navora, da se sinhronizira.

Za zmanjšanje tega pogoja je določen navor motorja navadno dva ali večkrat večji od zahtevanega. To prispeva k velikosti, teži in vztrajnosti motorja, zmanjša pa njegovo dinamično zmogljivost. Če želimo preprečiti pregrevanje motorja, moramo omejiti napetost tako, da ne presega najvišjega konstantnega toka motorja. To se naredi ne glede na to, ali je motor v teku ali ne in neodvisno od zahtevane obremenitve. Ta tok je opredeljen z razmerjem:  $I = V/R$ , kjer je:  $I$  = DC amperov,  $V$  = DC voltov, in  $R$  = upor navitja motorja. Zaradi omejitve napetosti igra električna frekvenca motorja  $L / R$  pomembno vlogo pri določanju najvišje hitrosti delovanja motorja. To je zato, ker takrat, ko stikalna frekvenca narašča, se bo čas naraščanja toka na koncu omejil na povprečno napetost, ki se nanaša na privzeti navor motorja.

Koračni motorji so posledično omejeni na približno 2000 obratov na minuto. Vrednost koračnih motorjev za preprosto nizko napetostno uporabo je njihova sposobnost opravljanja nadzora položaja in hitrosti ob zelo nizkih stroških.

### Brezkrtačni motorji:

Delovanje brezkrtačnih motorjev poteka s komutacijo (izmenjavo) toka skozi več navitij do te mere, da je tek rotorja sinhroniziran s tekom statorja. V primerjavi s koračnim motorjem pa ta izmenjava (komutacija) temelji na odzivu položaja rotorja, tako da je sinhronizacija vedno ohranjena. To se imenuje samo-sinhronizacija. Motor ohranja sposobnost pridobivanja navora ne glede na napačno hitrost. Poleg tega pa zaradi pridobitev v pogonskem ojačevalniku tok (in s tem tudi navor) lahko naraste, ko je to potrebno, z uporabo višje napetosti motorja. Sposobnost dobave toka, ki temelji na zahtevi, je ključna značilnost servomotorjev. Če motor miruje in ni obremenitev, ni uporabe toka in motor se lahko ohladi. Poleg tega je lahko najvišji tok, ki se izda za pospešek, dva do pet krat večji od konstantne vrednosti. Dodatna korist servomotorjev je sposobnost delovanja na zelo visokih frekvencah komutacije (izmenjave) in pri visokih hitrostih. Za razliko od koračnih motorjev ima servo motorni pogon tokovno zanko, ki nadzira tok. Na razpolago je visoka napetost v primerjavi s tisto, ki je potrebna, da prisili tok v navitja in tudi zmanjšanje električne frekvence navitja. Običajne hitrosti 10.000 obratov na minuto so najpogosteje omejene z mehanskimi dejavniki.

Pri primerjavi sva si izbrala motorja, ki sta v približno enakem cenovnem rangu.

**Koračni motor 23HSX-306E**

Cena: 160€

Delovni tok: 4,2A

Max navor: 163N-cm

Upornost: 6,2  $\Omega$

Induktivnost: 1,7 mH

Kot : 1,8°

Upornost tuljave: 1,1  $\Omega$

Premer gredi :8mm

**Brezkrtačni motor BLDC48-12L-031**

Cena: 173€

Napetost: 24V

Max navor : 0.03N-m

Premer gredi : 5.989 mm

Delovni tok: 800mA

Delovna moč: 12W

## 6. Razprava:

Uporabnost koračnega in brezkrtačnega motorja je vse večja. Uporabljamo jih za premike, pomike, kjer je pomembna natančnost. Midva osebno veva, da se uporabljajo v tiskalnikih, CNC strojih, Hard diskih, starih disketnikih, ki pa se danes ne uporabljajo več. Po tem sklepava, da se je uporaba teh dveh vrst motorjev iz leta v leto večala in da so bili v preteklosti manj uporabni kot danes. Brez koračnega in brez brezkrtačnega motorja bi bilo delovanje v podjetjih težje. Dandanes se brezkrtačni motorji uporabljajo za večje stroje velikih CNC strojih, kjer pri velikih hitrostih ne izgubljajo na natančnosti v primerjavi z koračnimi motorji. Karakteristika hitrosti od navora je pri brezkrtačnih motorjih linearna, pri koračnih motorji pa navor glede na hitrost pada. Brezkrtačni motor pa lahko pri zagonu preobremenimo.

**Hipoteza:** V današnjem času je vse več naprav, katere uporabljajo za svoje delovanje koračni motor, trdimo, da je možno zamenjati popolnoma vsaki koračni motor, z brezkrtačnim motorjem.

Na podlagi najinih ugotovitev, ki sva jih ugotovila oz. raziskala hipotezo lahko popolnoma potrdimo, saj lahko popolnoma vsak koračni motor zamenjamo z brezkrtačnim motorjem. Oba motorja sta zelo uporabna, Njihova bistvena razlika pa je samo v krmiljenju samega motorja.



## **7. Zaključek**

Ob izdelovanju te raziskovalne naloge sva ugotovila oz. se odločila, da bova, kolikor bo le mogoče uporabljala koračne in brez krtačne motorje, zaradi naslednjih pridobljenih ugotovitev;

- So natančni in zanesljivi.
- So cenovno ugodni.
- Enostavni za krmiljenje.
- Dolga življenska doba.

Ob samem raziskovanju sva veliko najin角度 ugotovitev delila z ostalimi, ter jih s tem seznanila, kako uporabni so koračni in brez krtačni motorji .

## 8. Povzetek

Koračni in brezkrtačni motorji so v današnjem svetu nepogrešljiva stvar, uporabljajo se skoraj v vsakem delovnem stroju, v tiskalnikih, CNC strojih, Hard diskih, starih disketnikih, kateri se danes ne uporabljajo več. Zaradi tako široke uporabe koračnih in brezkrtačnih motorjev, sva se odločila, da bo namen najine raziskovalne naloge, da raziščeva čim več o koračnih in brezkrtačnih motorjih, za cilj pa sva si zadala, da ugotoviva, ali lahko vsak koračni motor zamenjamo z brezkrtačnim motorjem. Ugotovila sva, da lahko vsak koračni motor zamenjamo z brezkrtačnim motorjem, razlika je samo v krmiljenju samega motorja. Da sva lahko prišla do ugotovitve, sva si morala pridobiti veliko predznanja, ki sva ga zelo potrebovala, da sva ugotovila razlike, med koračnim in brezkrtačnim motorjem.

## **9. Zahvala**

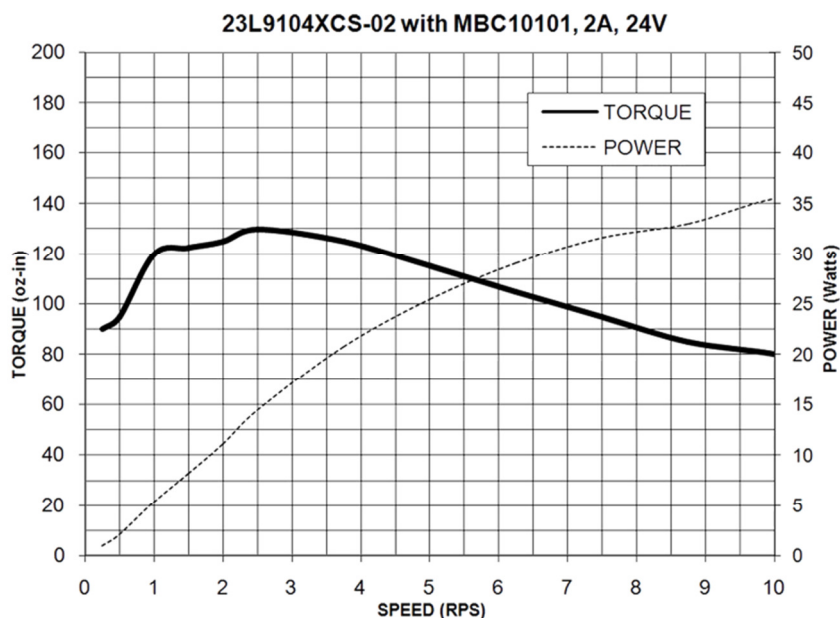
Iskreno se zahvaljujema najinemu mentorju prof. Zvonetu Cencen, ki naju je spodbujal že od samega začetka, nama pomagal med izdelovanjem naloge, ter jo s svojim znanjem pomagal pripeljati do konca.

Zahvala tudi staršem, ki so naju spodbujali pri nastanku seminarske naloge.

## 10. Priloge

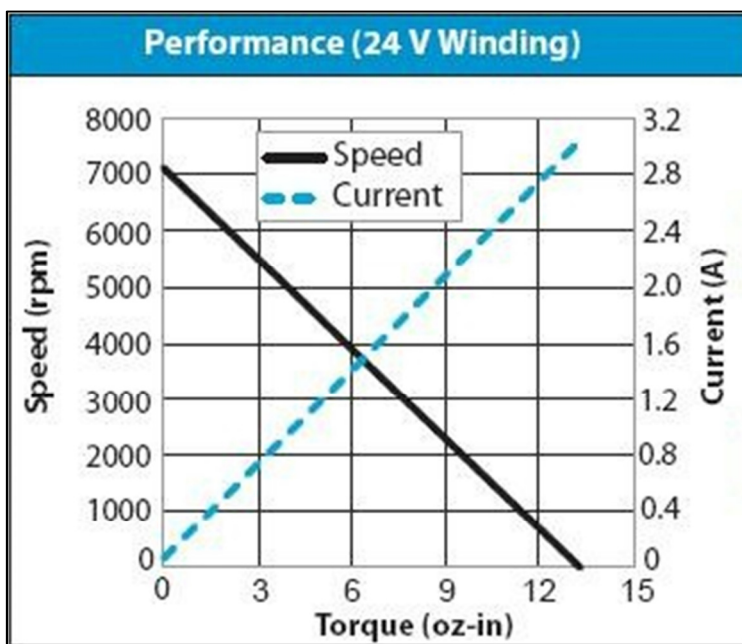
### Priloga A

Koračni motor:



### Priloga B

Brez krtačni motor :



## 11. Viri in Literatura

<http://www.anaheimautomation.com/products/stepper/stepper-motor-item.php?slD=271&pt=i&tID=75&clD=19>

<http://www.pittman-motors.com/Brushless-DC-Motors/Slotless-Brushless-DC-Servo-Motors/3411-Brushless-DC-Motor.aspx>

<http://image.made-in-china.com/2f0j00vsQEWfVhYggy/Stepper-Motor-42mm-Size.jpg>

[http://music.columbia.edu/~douglas/classes/motor\\_mania/stepper.jpg](http://music.columbia.edu/~douglas/classes/motor_mania/stepper.jpg)

[http://www.galilmc.com/support/servotrends/st\\_04\\_11/images/brushless-motor-web.jpg](http://www.galilmc.com/support/servotrends/st_04_11/images/brushless-motor-web.jpg)

[http://www2.arnes.si/~sspslavr/k\\_motor/koracni\\_02.gif](http://www2.arnes.si/~sspslavr/k_motor/koracni_02.gif)

[http://www2.arnes.si/~sspslavr/k\\_motor/koracni\\_01.gif](http://www2.arnes.si/~sspslavr/k_motor/koracni_01.gif)