

# **Laserska gravirna naprava**

**Avtorji: Anže Krevh, Anej Rupnik in Nik Senekovič**  
**Mentorja: mag. Marijan Španer in mag. Janez Pogorelc**

**Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru**  
**Koroška cesta 46, 2000 Maribor**

**anze.krevh@student.um.si, anej.rupnik@student.um.si in nik.senekovic@student.um.si**

## ***Laser engraving device***

We designed an innovative mechanism that uses two rotational movements: First rotational axis moves the workpiece, and the second axis moves the laser in transverse direction. Although the movements along both axes are rotational and consequently nonlinear, the movement of the mechanism in external coordinates or in the Cartesian coordinate system is performed with the help of kinematic transformation. Generation of motion trajectories, positional control of both servomotors and real-time calculation of kinematic transformation is performed with an industrial motion controller (Motion Controller TRIO). When planning the design of the mechanism, we followed the basic principles: simple, innovative, efficient and easy to manufacture. Both axes are identical and made based on a rotary plate with a diameter of 200 mm with external cycloid gearing ( $m = 0.3$ ), which is driven by a servomotor via a second gear. To reduce the undesired effects of looseness and friction, the drive motor is mounted movably and the required contact force between the gears is determined by the coil spring pressure.

## ***Kratek pregled prispevka***

Zasnovali smo inovativni mehanizem, ki uporablja dve rotacijski gibanji; prva rotacijska os premika obdelovanec, druga os pa v prečni smeri premika laser. Čeprav sta gibanji po obeh oseh rotacijski in posledično nelinearni, je s pomočjo kinematične transformacije izvedeno gibanje mehanizma v zunanjih koordinatah, oziroma v kartezičnem koordinatnem sistemu. Generiranje trajektorij gibanja, položajno vodenje obeh servomotorjev in sprotno preračunavanje kinematične transformacije je izvedeno z industrijskim krmilnikom gibanja (Motion Controller TRIO).

Pri načrtovanju zasnove mehanizma smo se ravnali po načelih: preprosto, inovativno, učinkovito ter preprosto za izdelavo. Obe osi sta identični in izvedeni na osnovi rotacijske plošče premera 200 mm z zunanjim cikloidnim ozobljenjem ( $\text{modul}=0,3$ ), ki jo preko drugega zobnika poganja servomotor. Za zmanjšanje neželenih vplivov zračnosti in trenja je pogonski motor vpet premično, potrebno kontaktno silo med zobnikoma pa določa pritisk spiralne vzmeti.

## 1 Uvod

V okviru predmeta Projekt I smo se lotili kompletne izdelave naprave, ki z laserjem gravira sliko na manjše predmete (npr. obesek za ključke). Na razpolago smo imeli zmogljiv industrijski krmilnik podjetja Trio in dva servomotorja z inkrementalnima dajalnikoma, s katerima lahko s povratno informacijo o položaju ustrezno krmilimo motorja. Naša ideja je na začetku bila ta, da namesto običajne gravirne naprave, ki deluje v kartezičnem koordinatnem sistemu, izdelamo napravo, ki deluje na nek nov inovativen in karseda učinkovit pristop. Zato smo se odločili, da bomo uporabili namesto linearnih gibanj, lasersko graviranje z dvojnimi rotacijskimi gibanji, preko dveh na različnih višinah postavljenih in prekrivajočih se zobnikov, ki ju ženeta servomotorja. Na enem od zobnikov je postavljena delovna ploščica, na drugem pa je pritrjen laser, ki z laserskim žarkom riše sliko na obdelovanca.

Na začetku smo vedeli, da bo največji problem programiranje motorjev tako, da bosta usklajeno premikala laserski žarek in obdelovanec, saj sta zobnika samostojna in neodvisna drug od drugega. Prav zaradi tega je bil izziv izbrati optimalno transformacijo linearnih koordinat v rotacijske, saj v krmilniku ni primernih transformacij za kakršni koli podoben primer. Iz tega razloga smo pozornost obrnili na kinematične transformacije za različne vrste robotov, kjer smo ugotovili, da bi lahko v našem primeru uporabili transformacijo s pomočjo funkcije Frame, ki je prvotno sicer namenjena za 2-osni SCARA robot, bi jo pa s prilagojeno nastavitvijo parametrov lahko uporabili v našem primeru.

Članek je razdeljen na poglavja v skladu s samim potekom dela. Najprej so predstavljeni elementi, ki smo jih izbrali na podlagi zahtevanih funkcionalnosti in njihova funkcija pri delovanju naprave. V drugem in tretjem razdelku je na kratko opisano načrtovanje in izdelava konstrukcije. Program za inicializacijo in referenco sta predstavljena v četrtem razdelku, v petem pa priprava same risbe v vektorskem

programu in generiranje končnega programa za izris oz. graviranje na ploščico.

## 2 Predstavitev komponent

### 2.1 Servomotorja

Za našo napravo smo uporabili dva enosmerna (DC) servomotorja proizvajalca ESCAP tip D2R 11 219P B 100Y. Motor deluje v sistemu z zaprtim zankom preko katere s pomočjo enkoderja prejema informacije o dejanskem položaju. Servomotorji so praviloma namenjeni za uporabo v robotiki, CNC obdelavi in avtomatizaciji. Motorja sta priključena na izhod servo ojačevalnika z 12 V napajanjem, njuna nazivna moč pa znaša 15 W. Motorja imata na gredi prigraven zobnik z modulom  $modul=0,3$  in število zob  $=19$ , ki omogoča prenos moči z motorja na večji zobnik. Na gredi motorja je prigraven optični inkrementalni dajalnik (enkoder) s 100 pulzi/obrat, preko katerega je bila izvedena meritev hitrosti in položaja (glej sliko 1).



Slika 1: Servomotor

### 2.2 Krmilnik gibanja

Za vodenje servo motorjev se uporablja industrijski krmilnik gibanja (motion controller) TRIO MC403 (glej sliko 2), s katerim preko osebnega računalnika komuniciramo v programskem okolju MOTION PERFECT. Krmilnik ima analogne in digitalne vhode ter izhode. Na krmilnik smo priključili ethernet priključek za povezavo z računalnikom, motorja (predhodna povezava na napajalnik) in laser, ki ima še samostojno 5V napajanje.



Slika 2: Krmilnik TRIO MC403[1]

### 2.3 Laser

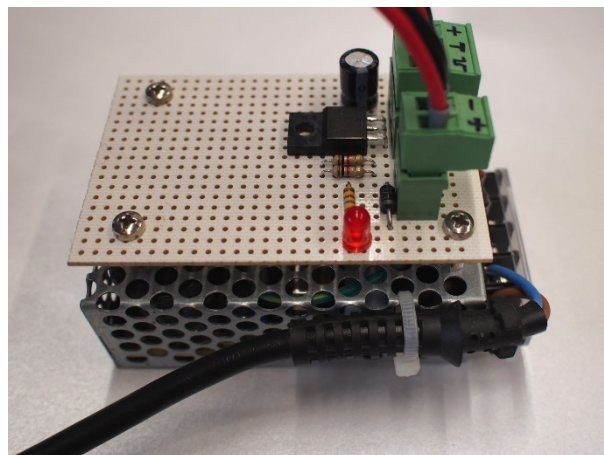
Laser (glej sliko 3) je priključen na stikalni napajalnik z izhodno napetostjo 5V, pri čemer je dodano vklopno vezje (glej sliko 4), ki s signalom iz digitalnega izhoda krmilnika vkloplja delovanje laserskega žarka.



Slika 3: Laser [2]

Moč laserja je 1W, valovna dolžina pa 405nm, kar sodi v vidni spekter svetlobe, ki jo zaznamo kot modro-vijolično barvo žarka. Funkcija laserja je, da s pomočjo žarka vgravira sliko na delovno ploščico, za kar pa moramo predhodno nastaviti optimalno goriščno razdaljo, saj takrat žarek najlepše riše po ploščici. Morali smo tudi poskrbeti za varnost oči, tako da smo uporabili

varnostna očala ali ohranjali primerno varnostno razdaljo 2 metra.



Slika 4: Vklpno vezje

### 2.4 Zobnik

Pri naši napravi smo uporabili dva zobnika premera 206 mm in debeline 3 mm (glej sliko 5). Izdelana sta iz dveh enakih krožnih diskov iz lahkega materiala Forex, ki je zelo mehek, vendar dovolj trpežen, da lahko prenaša sile v našem sistemu.



Slika 5: Zobnik

Ta lastnost materiala nam je omogočila relativno preprosto (in v tem primeru učinkovito) metodo izdelave zob zobnika tako, da se jih je enostavno vtisnilo v zobnik s pomočjo majhnega zobnika, ki je že pritrjen na servomotorju, v postopno vedno močnejših intervalih, kar je rezultiralo v primeren zobnik za naš projekt.

Zobnik, ki je pritrjen na zgornji del konstrukcije ima 624 zob, drugi zobnik na spodnjem delu pa 629 zob. Na zgornjem zobniku je na robu pritrjen laser na spodnjem pa delovna ploščica.

## 2.5 Pomožna elementa

Kot prvi pomožni element smo uporabili štiri polimerne prirobnične drsne ležaje IGUS, tip FM-0608-08(glej sliko 6).



Slika 6: Ležaj IGUS [3]

Z njimi smo vležajili oba velika zobnika in dva aluminijasta nosilca za servomotorja. Te ležaje smo uporabili, ker so enostavnejši za vgradnjo in uporabo v primerjavi s klasičnimi kovinskimi ležaji. Prav tako je zaradi teh ležajev manjša tudi teža same naprave.

Drugi pomožni element pa sta v prejšnjem odstavku omenjena aluminijasta nosilca za servomotorja(glej sliko 7), kjer so na



Slika 7: Aluminijasti nosilec

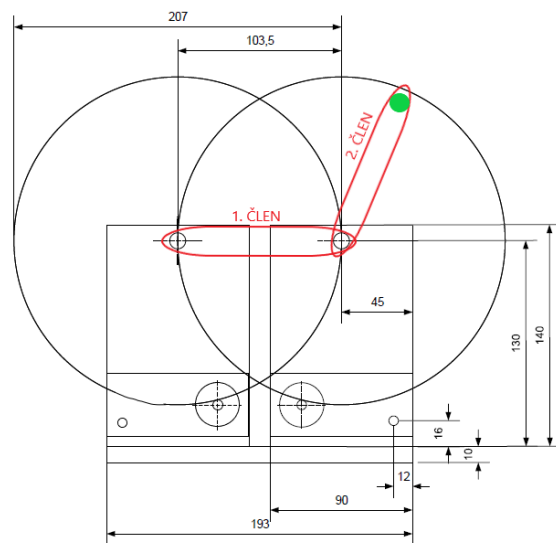
eni strani nosilca izvrtine za pritrditev motorja, na drugi strani pa je nosilec vležajen in pritrjen na ohišje. Takšen način omogoča, da motor s pomočjo vzmeti pritiska k zobniku, kar pripomore pri morebitnih tolerancah opletanja, saj posledično zobci med seboj ne preskakujejo, manjša pa je tudi obraba samih zobnikov.

## 3 Načrtovanje in izdelava konstrukcije

### 3.1 Načrtovanje

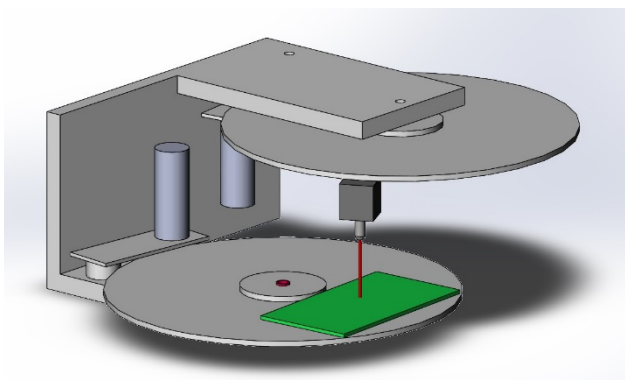
Preden smo se lotili same izdelave, smo narisali skico in določili mere konstrukcije. Pri načrtovanju je bila najbolj ključna medosna razdalja, ker je določala delovno območje, saj laser pri preveliki ali premajhni medosni razdalji ne bi dosegel vseh točk na delovni površini. Po nekaj analizah smo ugotovili, da je najbolj optimalna medosna razdalja med središčem spodnjega zobnika in laserskim žarkom, ker pa je laser pritrjen na robu zobnika, je medosna razdalja točno polovica premera zobnika.

Na spodnji sliki je prikazan tloris konstrukcije skupaj z analogijo za SCARA robot. Členi se v našem primeru premikajo drugače, kar pa smo rešili s kinematično transformacijo (preračun rotacijskih koordinat v linearne) z ukazom FRAME, ki bo bolj podrobno predstavljen v naslednjem razdelku(glej sliko 8).



Slika 8: Tloris in analogija SCARA robota

Iz narisanih skic smo pred izdelavo narisali še 3D model za lažjo predstavo in simulacijo delovanja (glej sliko 9).

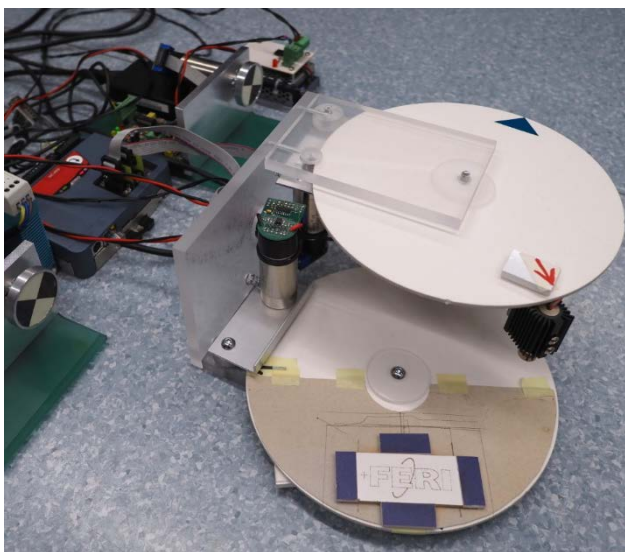


Slika 9: Model naprave

### 3.2 Izdelava

Za ohišje naprave se je izrezalo tri pravokotnike iz 10 mm plošče akrilnega stekla, dva velikosti 140x90 mm in enega 193x120 mm. Po izdelavi potrebnih navojev in izvrtin so bili ohišje, zobniki in motorji privijačeni skupaj. Zobnika sta bila predhodno ojačana z nalepljenima ploščicama iz akrilnega stekla in vležajena.

Na oba zobnika sta z dvostranskim lepilnim trakom pritrjeni majhni, mehki ploščici, ki služita za iskanje reference. Dodana je vzmet proti preskakovanju zobnikov motorja in aluminijasti nosilec za laser. Končna naprava je prikazana na spodnji sliki (glej sliko 10).



Slika 10: Končana in sestavljena konstrukcija naprave

## 4 Programi

Program smo pisali v aplikaciji Motion Perfect verzija 4.4. Uporabili smo funkcijo FRAME, to je kinematična transformacija za SCARA robot, ki jo potrebujemo za delovanje naše naprave.

### 4.1 Referenca in inicializacija

Z referenčnim programom smo poiskali referenčni položaj s funkcijo DAC, ki nam na motor pripelje dovolj veliko napetost, da se motor premika (glej sliko 11). Referenčni položaj potrebujemo, da naprava po vsakem izklopu zna najti vedno isto točko in se z njeno pomočjo orientirati v prostoru ter se nato postaviti vedno v isto lego, kjer se definira koordinatno izhodišče.

```

1  FRAME=0
2  CANCEL
3
4  RUN "startup"
5  WA(100)
6
7  ' hitrost_gibanja=150
8
9  BASE(0)
10 SERVO=OFF
11 DAC=300
12
13 BASE(1)
14 SERVO=OFF
15 DAC=200
16
17 WDOG=ON
18
19 WA(4000)
20 DAC AXIS(0)=0
21 DAC AXIS(1)=0
22
23
24 BASE(0)
25 SERVO=ON
26 DEFPOS(1.165*PI)
27
28 BASE(1)
29 SERVO=ON
30 DEFPOS(0.59*PI)
31
32 BASE(0,1)
33 MOVEABS(0,0)
34 WAIT IDLE
35
36
37 DEFPOS(0,0)
38

```

Slika 11: Referenčni program

Med tem gibanjem prilepljena blokirna elementa na zobnikih zaustavita premikanje vedno v isti točki (način »SERVO« je izključen, kar pomeni, da motor v končni legi ne bo povečal navora, da bi kljuboval obremenitvi).

Tako lahko definiramo referenčni položaj (ukaz DEFPOS), ki pa smo ga nastavili tako, da sta navidezni roki našega »robot« vzravnani preden zaženemo FRAME ukaz, saj je to ena od zahtev tovrstne transformacije. Da je robot vzravnani pomeni, da sta obe roki SCARA robota vertikalni, torej usmerjeni navzgor pri čemer ni nobenega kota med obema členoma.

Ko je referenčni položaj določen in »robot« vzravnani, se lahko pomaknemo v delovni položaj oz. v koordinatno izhodišče.

#### 4.2 Parametri FRAME ukaza

Zadnji del programa je določanje parametrov za ukaz FRAME(glej sliko 12).

```
link1=103000
link2=103000

t1_encoder=400
t1_gearbox=629/19
t1_edges_per_radian=t1_encoder*t1_gearbox/(2*PI)

t2_encoder=400
t2_gearbox=624/19
t2_edges_per_radian=t2_encoder*t2_gearbox/(2*PI)

TABLE(0,link1,link2,t1_edges_per_radian,t2_edges_per_radian,0,1)

FRAME=1
WA(100)
VR(10)=0
WDOG=OFF
WA(100)

WDOG=OFF
```

Slika 12: Frame ukaz

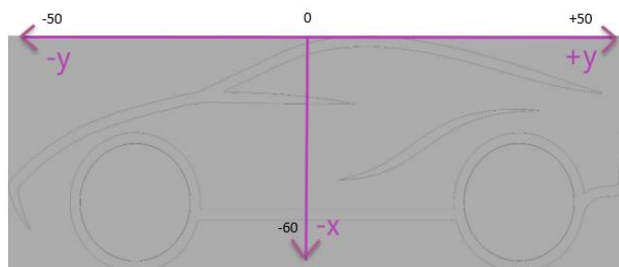
Prva dva parametra sta dolžina rok robota oz. v našem primeru polmer zobnikov. Naslednja dva sta natančnost kota zasuka v radianih, kar določimo z razmerjem števila zob velikega zobnika in zobnika na motorju ter to pomnožimo z 4 kratno vrednostjo resolucije inkrementalnega dajalnika (npr.:  $(400*624/19)/2*PI$ ), vse še podelimo z  $2*pi$ , da dobimo vrednost v radianih.

Zadnji določljiv parameter pa je še določitev pozicije drugega motorja in sicer imamo možnost izbrati ali se motor nahaja v členku prve roke »robot« ali v vzožju. Po eksperimentiranju in razmisleku smo ugotovili, da mora za pravilno delovanje motorja biti izbran način, da se naš motor nahaja v členku prve roke. Do te ugotovitve smo prišli tako, da kljub temu, da sta motorja neodvisna drug od drugega, je sama točka izrisa odvisna od premika obeh motorjev in če se premakne prvi zobnik, se posledično spremeni položaj drugega zobnika z laserjem(po principu prikazanem na sliki 8).

Vse te parametre vstavimo v TABLE, ki definira naš FRAME ukaz in za vklop kinematične transformacije uporabimo ukaz FRAME=1.

#### 5 Priprava risbe in končni program

V programu (Illustrator) smo narisali vektorsko sliko in jo nato shranili oz. izvozili v DXF format. Po izvozu slike smo jo prenesli v program CAD2Motion, kjer smo sliko pravilno obrnili, saj je naš koordinatni sistem zasukan (Y-X) v primerjavi z koordinatnim sistemom (X-Y) v programu(glej sliko 13). Sliko smo še povečali oz. pomanjšali in nato ustvarili kodo v programskem jeziku Basic, po kateri naprava izrisuje sliko na delovno ploščico.



Slika 13: Zasukan koordinatni sistem

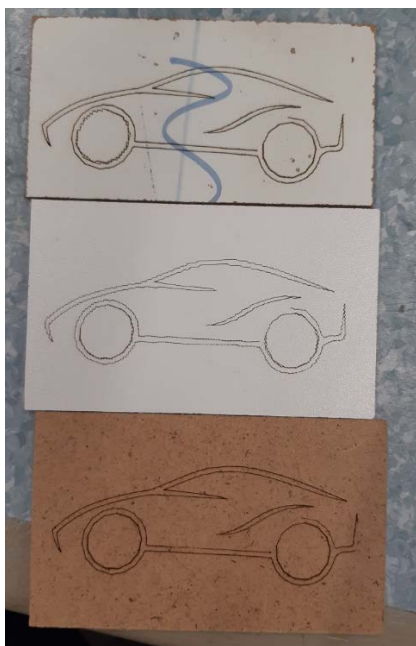
V glavnem programu smo na začetku določili hitrosti delovnega in prostega giba ter pospeške oz. pojemke. Nato pa smo kopirali celoten program iz programskega okolja Cad2Motion, ki je sestavljen iz različnih sekvenc

(za posamezne oblike) in premikov v samih sekvencah (glej sliko 14).

```
WDOG=1
pomik_speed=200
work_speed=10
ACCEL=100
DECEL=100
OP(8,0)
|
'$StartSeq(1)
cadseq1:
WAIT IDLE
SPEED=pomik_speed
OP(8,0)
MOVEABS(-63.6028,-29.7868)
WAIT IDLE
SPEED=work_speed
OP(8,1)
MOVE(-0.0024,0.1232)
MOVE(0.0222,0.1189)
MOVE(0.0408,0.1176)
MOVE(4.5275,11.1023)
MOVE(4.5738,11.2168)
MOVE(4.5746,11.2166)
MOVE(0.1361,0.367)
MOVE(0.0139,0.1379)
MOVE(-0.0139,0.1419)
```

Slika 14: Glavni program

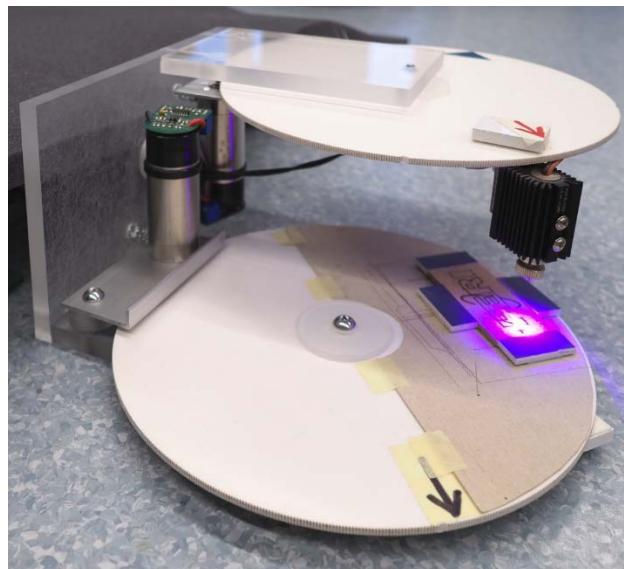
Prva gravura je bila dokaj nenatančna, saj linije niso bile popolnoma ravne. Pojavilo se je tresenje in posledično nazobčane linije. Po nastavitvah dušenja in ojačanja PID-regulatorja, predvsem z nastavljanjem P in D dela, smo dobili ravne in čiste linije (glej sliko 15).



Slika 15: Izboljšave gravur

## 6 Zaključek

V delu je predstavljena ideja in razvoj sistema za lasersko graviranje, ki uporablja rotacije namesto translacij. Med izvajanjem projekta smo se soočali z različnimi izzivi, saj smo se lotili izdelave dokaj inovativne naprave, kjer smo morali prilagoditi konstrukcijo ideji dvojnega rotacijskega gibanja, prav tako pa smo se morali poglobiti v, za nas novo snov, delovanje kinematičnih transformacij, da smo lahko napravo pravilno sprogramirali. Cilj je bil z tovrstnim izdelkom vgravirati poljubno sliko na ploščico, kar nam je na koncu tudi uspelo z končnim izdelkom, s katerim smo več kot zadovoljni (glej sliko 16).



Slika 16: Delovanje in končni izdelek

## 7 Viri slik

[1]- Krmilnik TRIO MC403 [online]. Dostopno na: <http://www.ps-log.si/image/data/Dokumenti/Brosure/trio2018.pdf>

[2]- Laser [online]. Dostopno na: <https://www.aliexpress.com/item/33019893763.html?spm=a2g0o.detail.1000023.5.552a68acCiryKW>

[3]- Ležaj IGUS [online]. Dostopno na: <https://www.igus.si/iglidur/plain-bearing>