

MERJENJE POZICIJSKE TOČNOSTI IN KALIBRACIJA LINEARNIH OSI CNC-OBDELOVALNIH STROJEV

Luka Čerče, David Muženič, Vinko Rotar, Franci Pušavec, Davorin Kramar

Izvleček:

Potrebe moderne industrije po doseganju vse ožjih toleranc ter zahteve mednarodnih standardov kakovosti so privedle k temu, da je zmogljivost proizvodne opreme pomembna kot še nikoli prej. Zahtevana dimenzijska točnost izdelkov neposredno kaže na pozicijsko točnost CNC-stroja. Poleg klasične meritve z merilnimi uricami lahko geometrijsko točnost obdelovalnih strojev preverimo s testom Ballbar. Dodatno lahko linearno pozicijsko točnost osi izmerimo z laserskim interferometrom. Na podlagi rezultatov testov lahko določene napake odpravimo s popravki parametrov v krmilniku CNC-stroja ter tako izboljšamo pozicijsko točnosti in krožnost CNC-stroja. S tem odločilno vplivamo na kakovost obdelane površine in dimenzijsko natančnost izdelkov. V prispevku sta na primeru iz prakse predstavljeni meritev geometrijske točnosti obdelovalnega stroja in izvedba kalibracije linearnih osi.

Ključne besede:

geometrijska natančnost, pozicijska točnost, CNC-stroj, naprava Ballbar, laserske meritve, umerjanje CNC-strojev

1 Uvod

V Laboratoriju za zagotavljanje kakovosti Fakultete za strojništvo na Univerzi v Ljubljani izvajamo meritve geometrijske točnosti in ponovljivosti obdelovalnih strojev, iz katerih lahko razberemo razloge za nastale odstopke od idealne pozicije. Tako lahko naročniku predlagamo možne ukrepe za njihovo odpravo ali zmanjšanje in s tem povečanje točnosti obdelovalnega stroja in posledično izdelkov.

Naročnik meritev se je zanimal za nakup rabljenega 5-osnega frezalnega stroja Deckel Maho DMU 100T (slika 1). 5-osni CNC-frezalni stroj ima delovno območje 1250 mm × 560 mm × 560 mm (X × Y × Z). Delovna miza se pomika v osi Z. V njej je integrirana NC-rotacijska miza premera 800 mm, ki rotira okrog osi C. Obdelovalna glava se pomika v osi X in Y ter rotira okrog osi B od -30 do +120°. Stroj lahko v zalogovniku orodij shrani 32 orodij tipa SK40. Frezalni stroj je opremljen s krmilnikom Heidenhain iTNC 530.

Na podlagi ogleda in opravljenih meritev geometrijske točnosti stroja z merilnim sistemom Ballbar so se naročniki odločili za nakup rabljenega stroja.



Slika 1: 5-osni frezalni stroj Deckel Maho DMU 100T

dr. **Luka Čerče**, univ. dipl. inž., **David Muženič**, univ. dipl. inž., **Vinko Rotar**, mag. inž., izr. prof. dr. **Franci Pušavec**, univ. dipl. inž., izr. prof. dr. **Davorin Kramar**, univ. dipl. inž., vsi Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

Po postavitvi in priklopu stroja v proizvodne prostore podjetja smo opravili nivelacijo ter z uporabo mehanskih merilnih uric in drugega merilnega pribora po priporočilu proizvajalca stroja preverili njegovo začetno stanje (slika 2).



Slika 2 : Mehanske meritve točnosti stroja

Večina izmerjenih vrednosti je bila v predpisanih tolerancah. Po opravljeni nivelaciji stroja smo za natančnejšo analizo stanja stroja opravili test Ballbar ter laserske meritve točnosti linearnih osi, na podlagi katerih so bile opravljene kompenzacije.

2 Uporabljeni merilni sistemi

Poleg klasičnih merilnih uric in orodjarskih libel smo za meritve točnosti stroja uporabili merilni sistem Renishaw Ballbar QC20-W in laserski interferometer Renishaw ML10 Gold Standard.

2.1 Sistem Renishaw Ballbar QC20-W

Ballbar QC20-W proizvajalca Renishawa (slika 3) je merilni sistem, prirejen za uporabo na različnih CNC-obdelovalnih strojih.

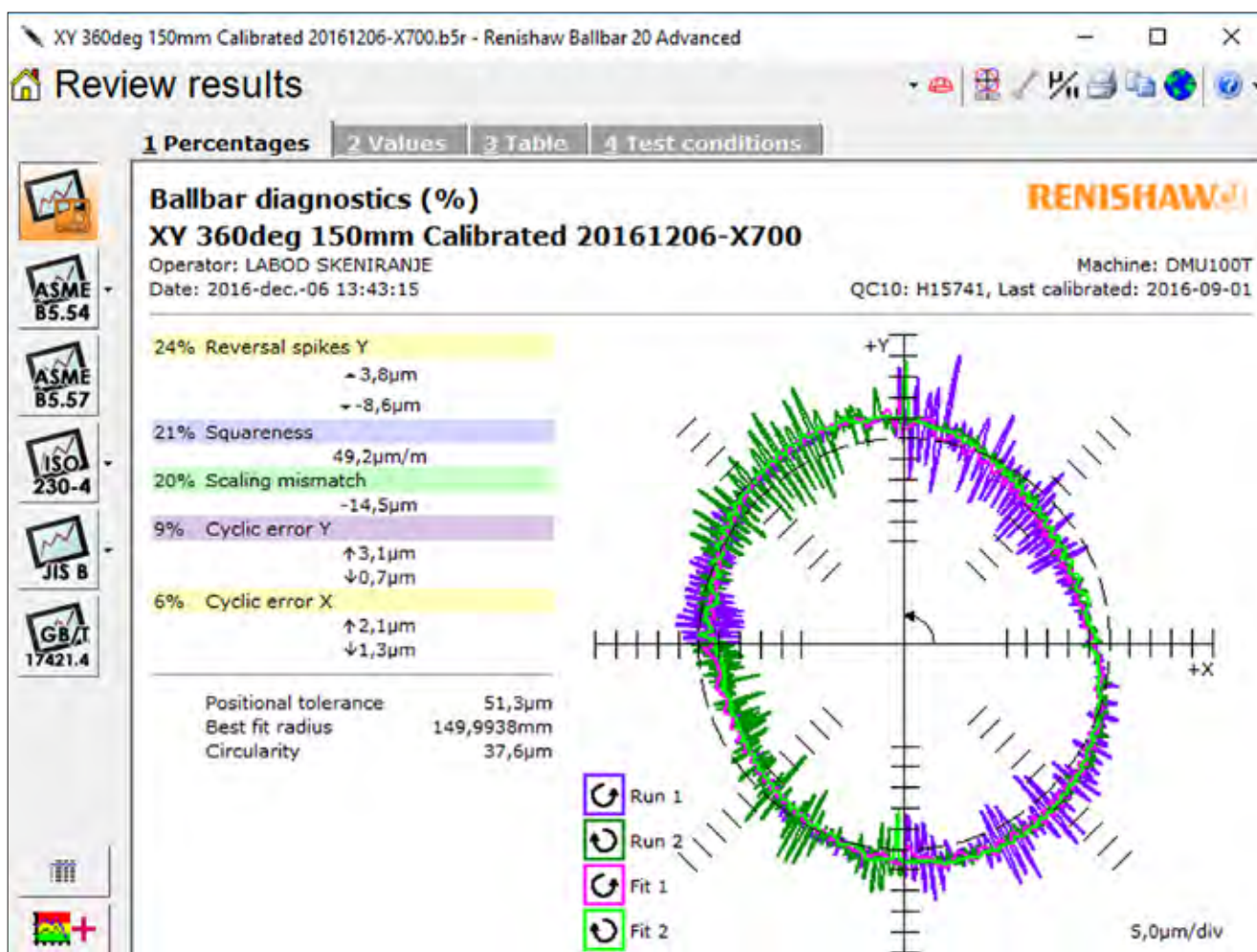
Osrčje naprave predstavlja LVDT-senzor (ang. Linear Variable Differential Transformer). Merilnik se s pomočjo dveh jeklenih kroglic ($\varnothing = 12,7 \text{ mm} \pm 2,5 \mu\text{m}$) vpne v magnetni sedali na vretenu (A) in mizi (B) obdelovalnega stroja.

LVDT-senzor je brezžično povezan z računalnikom in ustreznim programom, ki zajema majhne radialne pomike sensorja med izvajanjem krožnega testa. Glede na omejitve oz. namembnost obdelo-



Slika 3 : Ballbar QC20-W

valnih strojev lahko naredimo različne teste: krožne (360°), polkrožne (180°) ali četrtinske (90°) v ravnini X-Y, X-Z in Y-Z. Glede na vrsto in smer testa je potrebno napisati NC-program, ki je v bistvu zapis programirane idealne krožne poti vretena (B) okoli središča (A). Radij krožnega testa je za različne velikosti strojev mogoče prilagajati; najmanjši polmer je 100 mm, z različnim sestavljanjem podaljškov merilne palice pa je pri osnovnem kompletu naprave mogoče radij povečati na 150, 300 oz. 600 mm. Če izvajamo polni krožni test (360°), je ta sestavljen iz dveh delov meritev, in sicer: dva obhoda vretena (A) okoli središča kroglice (B) v smeri urnega kazalca in nato dva obhoda vretena v nasprotni smeri. Med menjavo smeri zaradi pravilnega zajemanja podatkov upoštevamo pavzo najmanj 3 sekunde [1].



Slika 4 : Primer rezultata meritve Ballbar

Odstopanja dejanske krožne poti vretena od idealne krožnice, zapisane z NC-kodo v krmilniku, zajame merilnik in jih sproti prikazuje na zaslonu PC-računalnika (slika 4).

Na osnovi teh rezultatov se lahko določi trenutno stanje sposobnosti stroja, iz analize rezultatov pa se kasneje lahko izvajajo tudi različni ukrepi za njihovo izboljšanje.

2.2 Laserski interferometer Renishaw ML10 Gold

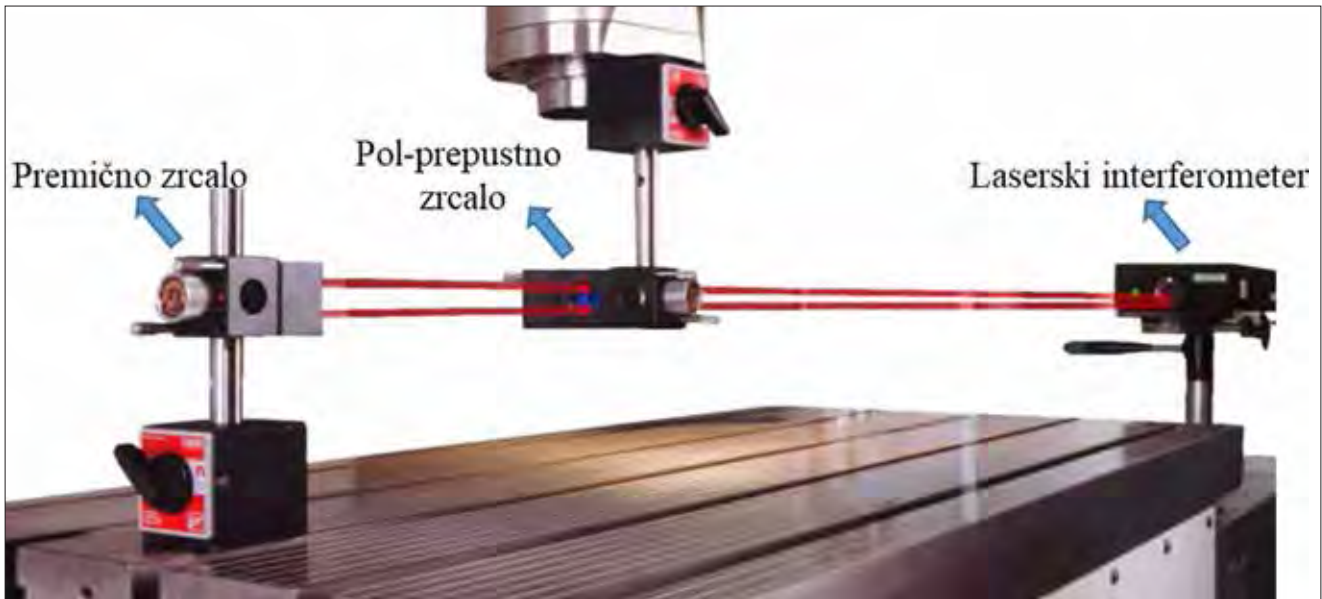
Laserski sistem ML10 Gold Standard proizvajalca Renishawa (slika 5) predstavlja drugi način za vrhunsko preverjanje in umerjanje natančnosti obdelovalnih strojev ter tudi koordinatnih merilnih strojev. Sistem ML10 Gold Standard je zasnovan za vrednotenje natančnosti vseh sistemov, pri katerih je bistvena natančnost pozicioniranja. Z visoko natančnostjo enofrekvenčnega laserskega vira, ki vsebuje elektroniko za stabilizacijo žarka, interpolacijo in štetje interferenčnih prog, lahko z nanometriško ločljivostjo merimo velikost napak oz.

odstopanj na obdelovalnih strojih in koordinatnih merilnih napravah. S pomočjo priloženega programskega paketa se nato iz meritev odstopkov izdelajo kompenzacijske tabele odstopanj, ki se s podatkovnim kablom lahko avtomatsko ali ročno vnesejo v krmilnik stroja [1]. Na tak način se lahko zagotovi natančnost delovanja obdelovalnega stroja oz. koordinatne merilne naprave na celotnem delovnem območju naprave.

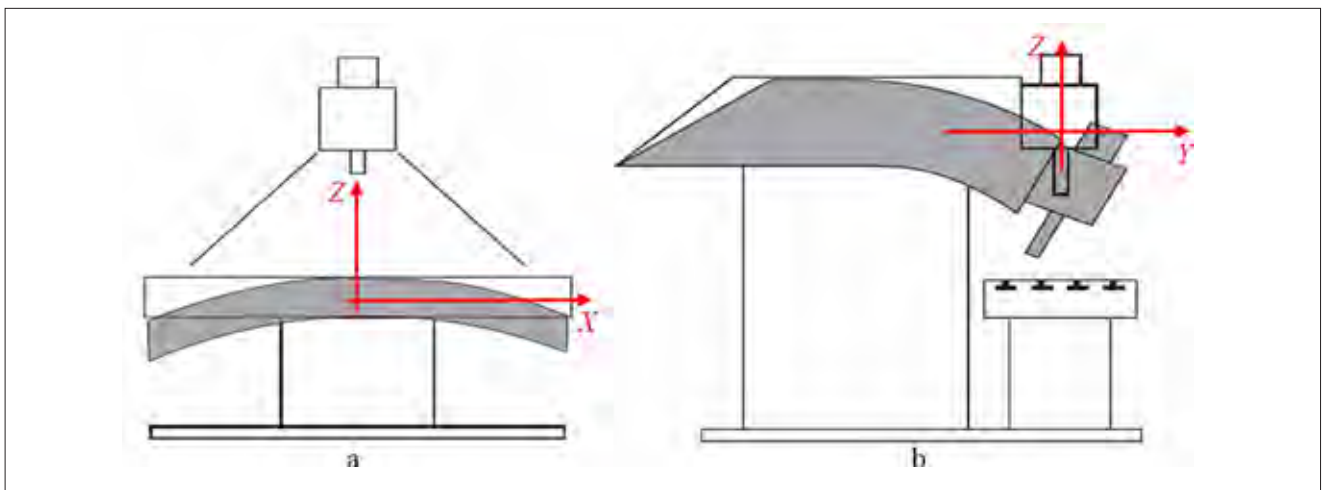
3 Možnosti izvedbe kalibracije

Stroj je opremljen s Heidenhainovim krmilnikom iTNC 530, ki omogoča poleg linearnih korekcij posameznih osi tudi korekciji osi Z proti X oziroma in osi Y ter kompenzacijo osi X proti osi Y [2]. Tako lahko odpravimo naslednje napake, ki vplivajo na pozicijsko točnost:

- ▶ upogib mize v Z-smeri po osi X (slika 6 levo),
- ▶ uklon vretena v Z-smeri (slika 6 desno) pri pomikanju po osi Y,
- ▶ pravokotnost vretena X in Y.



Slika 5 : Postavitev laserskega interferometra ML10 Gold Standard



Slika 6 : Kompensacije osi Z proti osi X (a) in osi Y (b) [2]

4 Analiza rezultatov

4.1 Rezultati testa Ballbar

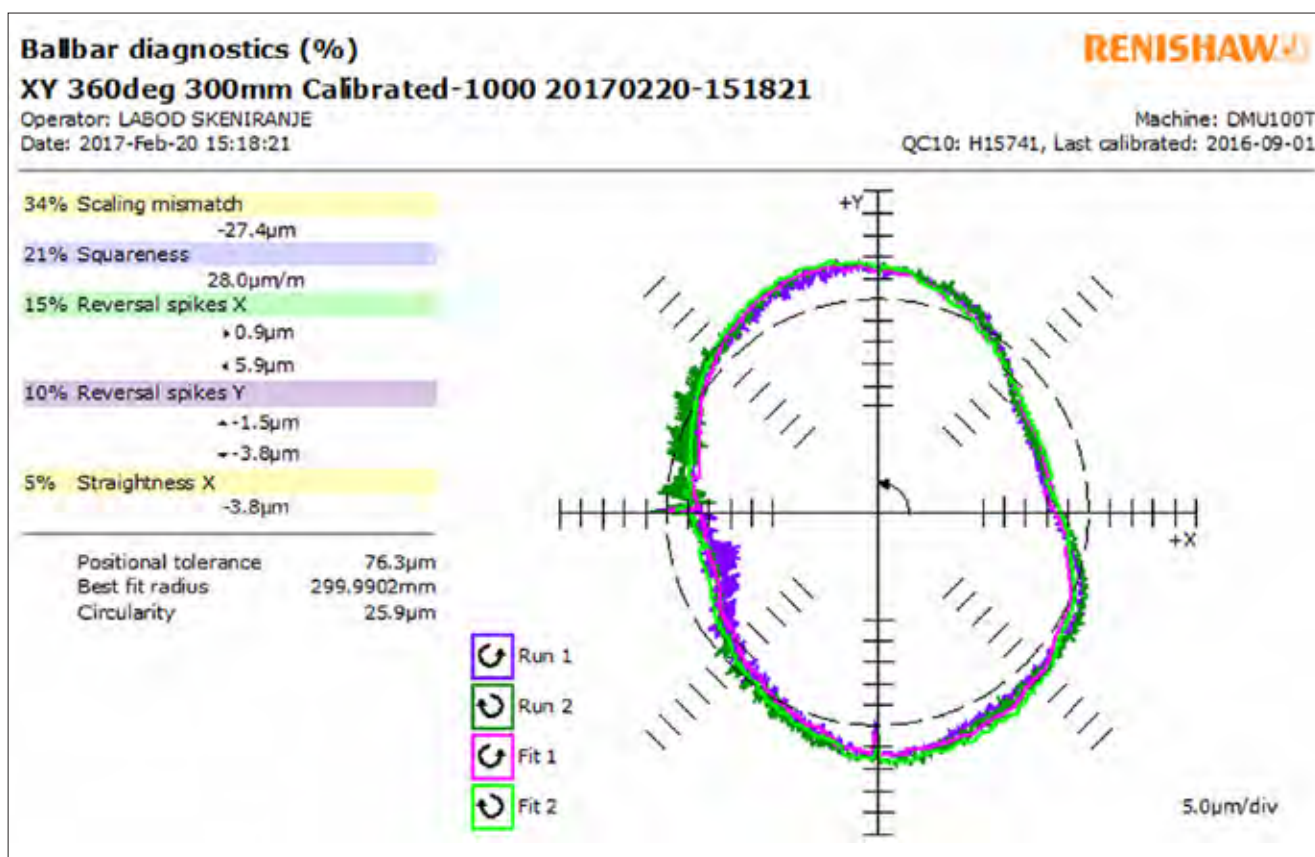
Iz rezultatov testa Ballbar, izvedenega v ravnini XY (slika 7), je razvidno, da sta pozicijska točnost (Positional tolerance) v ravnini XY po nivelaciji $76 \mu\text{m}$ ter krožnost (Circularity) $25,9 \mu\text{m}$. Prisotni sta napaka skale (Scaling mismatch) v osi X in Y ter napaka pravokotnosti (Squareness) med osjo X in Y. Ti dve napaki imata največji vpliv na končno točnost stroja.

V osi X se pojavljajo »napake pri prehodu med osmi« (Reversal spikes X), ki nastanejo zaradi »lepljenja vodila«, ko se to pri prehodu iz pozitivnega gibanja v negativno za kratek čas ustavi. Prav tako se pojavljajo vibracije, ki so mogoče posledica minimalne zračnosti v navojnem vretenu/matici.

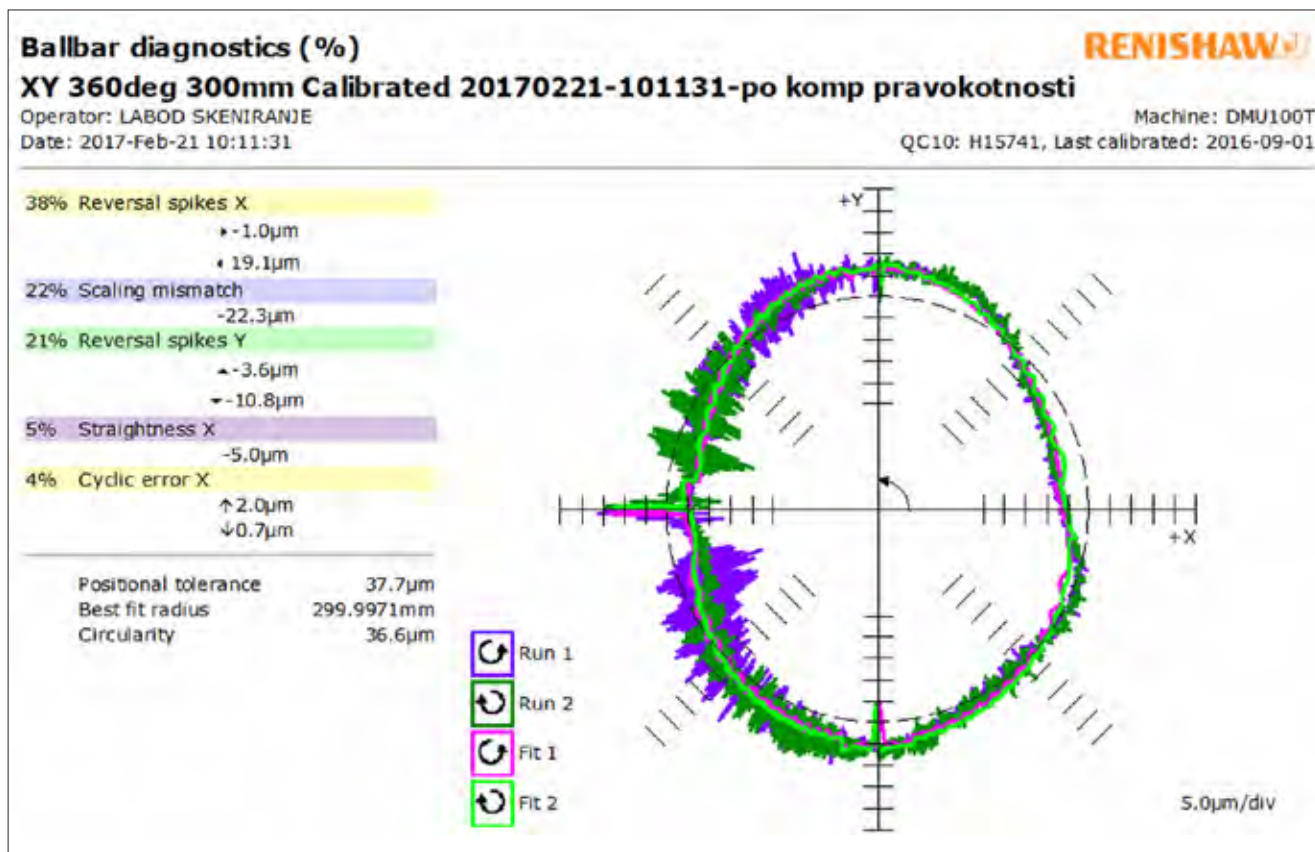
V prvem koraku je bila izvedena kompenzacija pravokotnosti osi X in Y. Izračunane linearne kompenzacije so bile vnesene v kompenzacijsko tabelo osi Y (QUER.COM).

Slika 8 prikazuje rezultat testa Ballbar po vneseni kompenzaciji pravokotnosti, kjer je razvidno, da smo omenjeno napako odpravili. S tem se je občutno izboljšala tudi pozicijska točnost stroja, ki znaša $38 \mu\text{m}$.

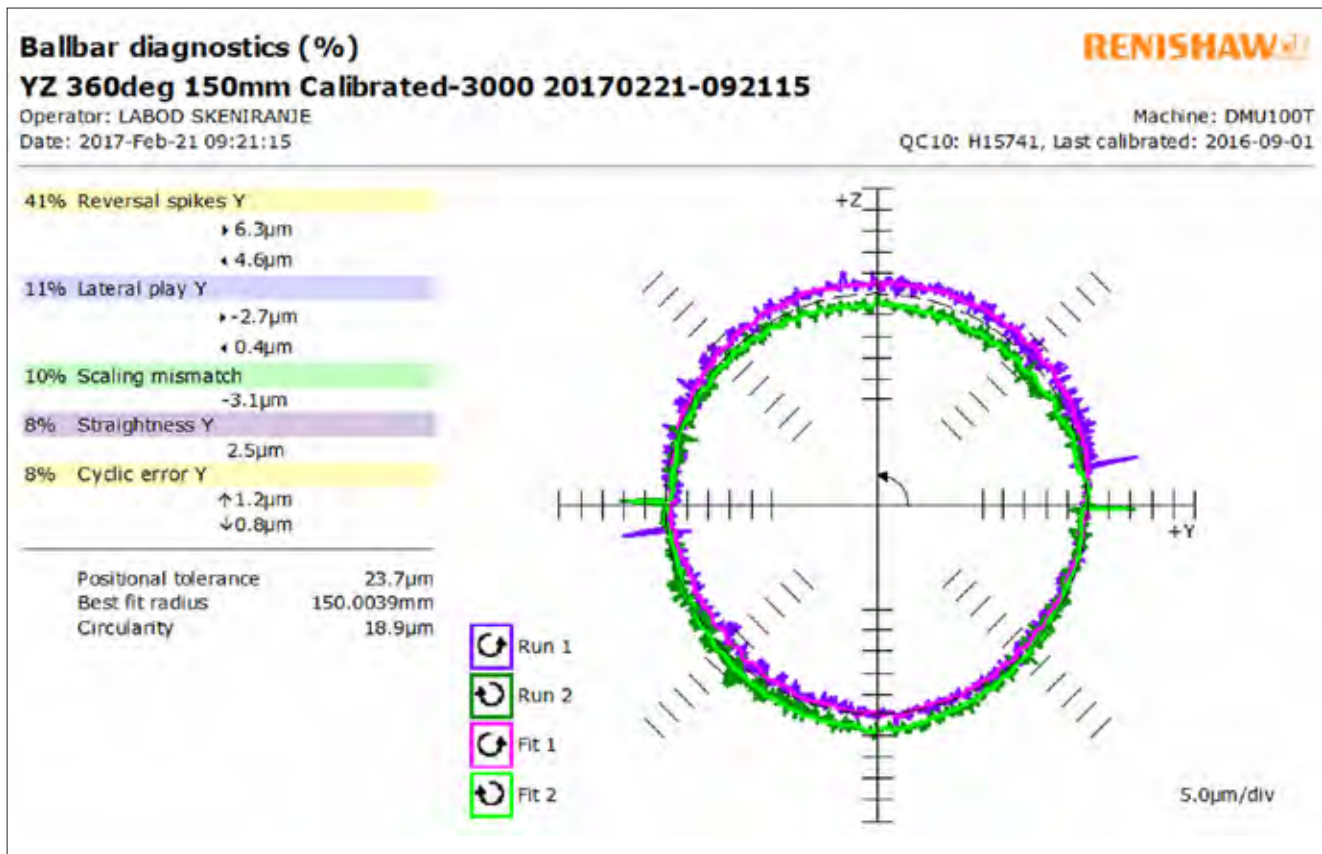
Iz rezultatov testa Ballbar v ravnini YZ (slika 9) je razvidno, da sta pozicijska točnost in krožnost stroja boljši kot v ravnini XY. Prisotne so manjše vibracije in »napake pri prehodu med osmi«, vendar v manjši meri kot v ravnini XY. Razvidna je tudi napaka skale v osi Z.



Slika 7 : Rezultat testa Ballbar v ravnini XY



Slika 8 : Rezultat testa Ballbar v ravnini XY po kompenzaciji pravokotnosti osi X in Y

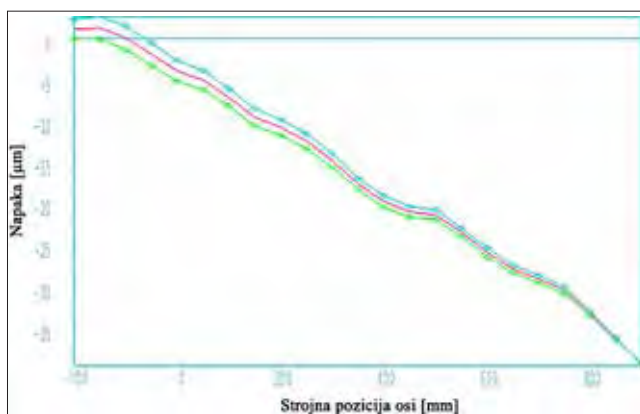


Slika 9 : Rezultat testa Ballbar v ravnini YZ

Iz predstavljenih rezultatov je razvidno, da je prisotna napaka skale v osi X, Y in Z. Zato je bila v naslednjem koraku izvedena kompenzacija skale vseh treh linearnih osi.

4.2 Rezultati laserske meritve in izvedbe kalibracije točnosti linearnih osi

Začetna pozicijska točnost osi X znaša 42 µm (slika 10). Na podlagi izvedene meritve so bile generirane

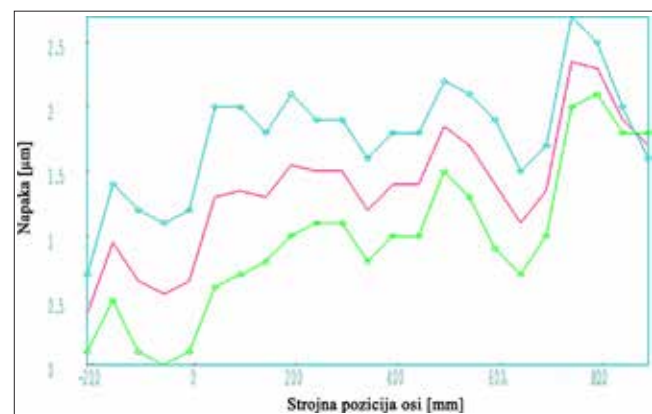


Slika 10 : Rezultat meritve pozicijske točnosti začetnega stanja osi X

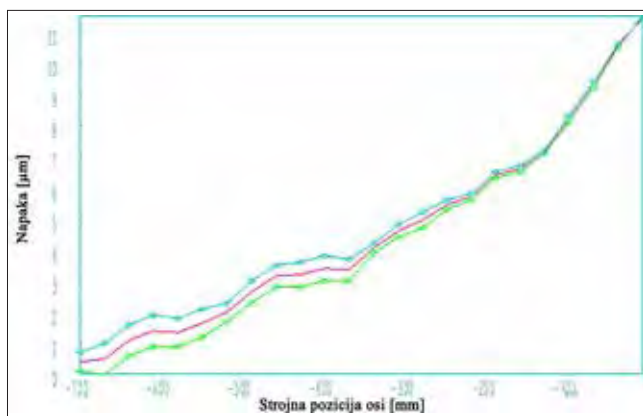
kompenzacije, ki smo jih vnesli v kompenzacijsko tabelo osi X (LAENGS.COM).

Po vnesenih kompenzacijah se je pozicijska točnost stroja v osi X občutno povečala in znaša 2,7 µm, kot je razvidno na sliki 11.

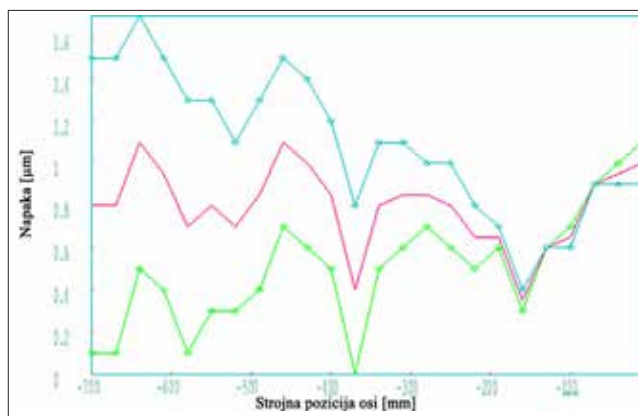
Iz rezultatov meritev osi Y (slika 12) je razvidno, da je začetna pozicijska točnost osi Y 11 µm. Na podlagi izvedene meritve so bile generirane kompenzacije, ki smo jih vnesli v kompenzacijsko tabelo osi Y (QUER.COM).



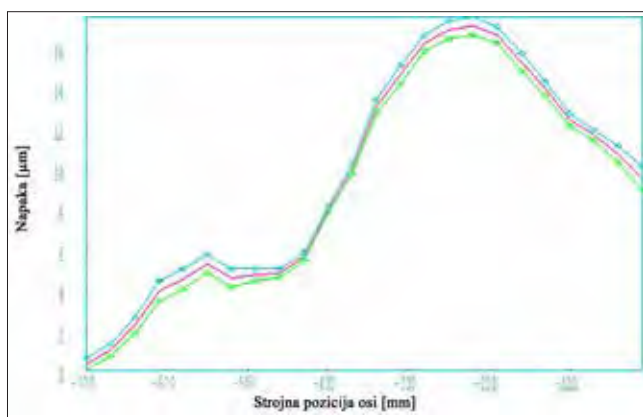
Slika 11 : Rezultat meritve pozicijske točnosti osi X po vnesenih kompenzacijah



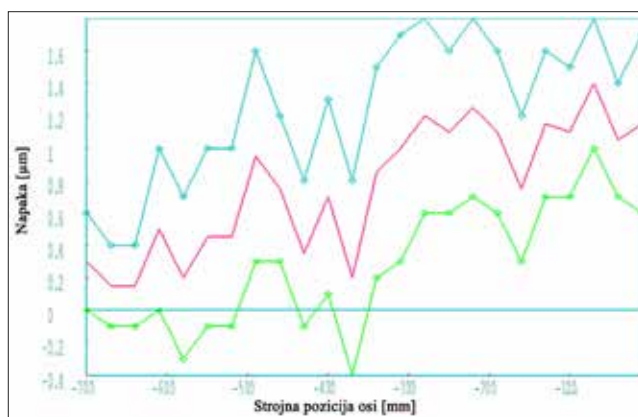
Slika 12 : Rezultat meritve pozicijske točnosti začetnega stanja osi Y



Slika 13 : Rezultat meritve pozicijske točnosti osi Y po vnesenih kompenzacijah



Slika 14 : Rezultat meritve pozicijske točnosti začetnega stanja osi Z



Slika 15 : Rezultat meritve pozicijske točnosti osi Z po vnesenih kompenzacijah

Po vnesenih kompenzacijah se je pozicijska točnost stroja v osi Y občutno povečala in znaša 1,7 µm, kot je razvidno na *sliki 13*.

Začetna pozicijska točnost osi Z znaša 17 µm.

Na podlagi izvedene meritve so bile generirane kompenzacije, ki smo jih vnesli v kompenzacijsko tabelo osi Z (SENK.COM). Po vnesenih kompenzacijah se je pozicijska točnost stroja občutno povečala in znaša 2,2 µm, kot je razvidno na *sliki 15*.

4.3 Končno stanje geometrijske točnosti CNC-obdelovalnega stroja po umerjanju

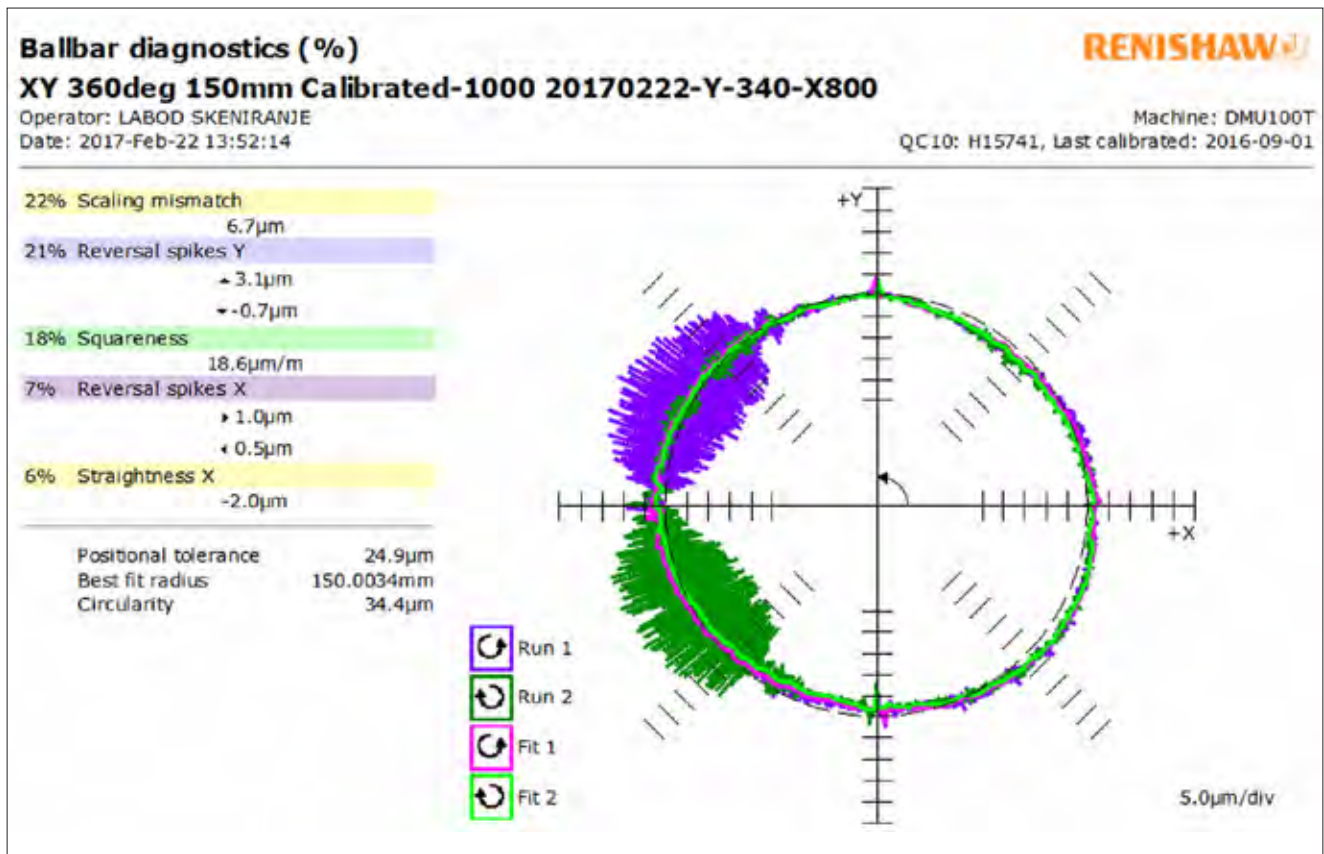
Po opravljenih linearnih kompenzacijah osi X, Y in Z smo končno stanje geometrijske točnosti CNC-obdelovalnega stroja ponovno preverili s testom Ballbar. Iz rezultatov, predstavljenih na *sliki 16*, je razvidno, da se je po vnosu linearnih kompenzacij napaka skale zmanjšala z začetnih 22,3 µm na 6,7 µm. Tako se je izračunana končna

pozicijska točnost stroja v ravnini XY z začetnih 76 µm zmanjšala na 25 µm.

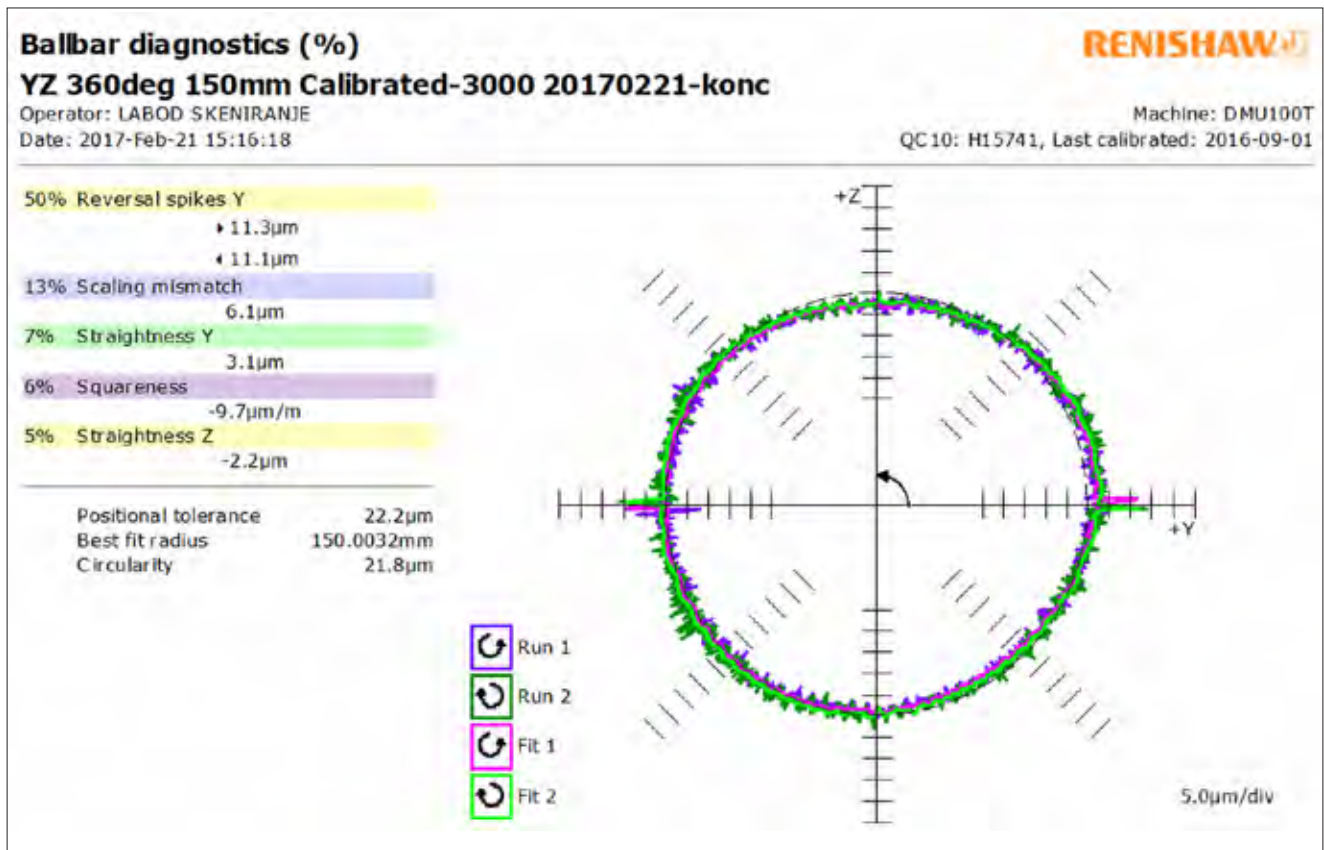
Kot glavna napaka se pojavljajo »napake pri prehodu med osmi« (Reversal spikes) in vibracije, ki so večje na območju osi X od centra delovne mize (rotacijska) v negativno smer gibanja. Glede na tip stroja je to pričakovano, saj je stroj zaradi rotacije vretena okrog osi B največ časa obratoval na tem območju. Ti dve napaki imata največji vpliv na izračunano krožnost, ki znaša 35 µm.

Prav tako sta se po izvedbi kompenzacije skale pozicijska točnost stroja in krožnost v ravnini YZ izboljšali in znašata cca 22 µm (*slika 17*). Kot glavna napaka se pojavljajo »napake pri prehodu med osmi« (Reversal spikes) v osi Y.

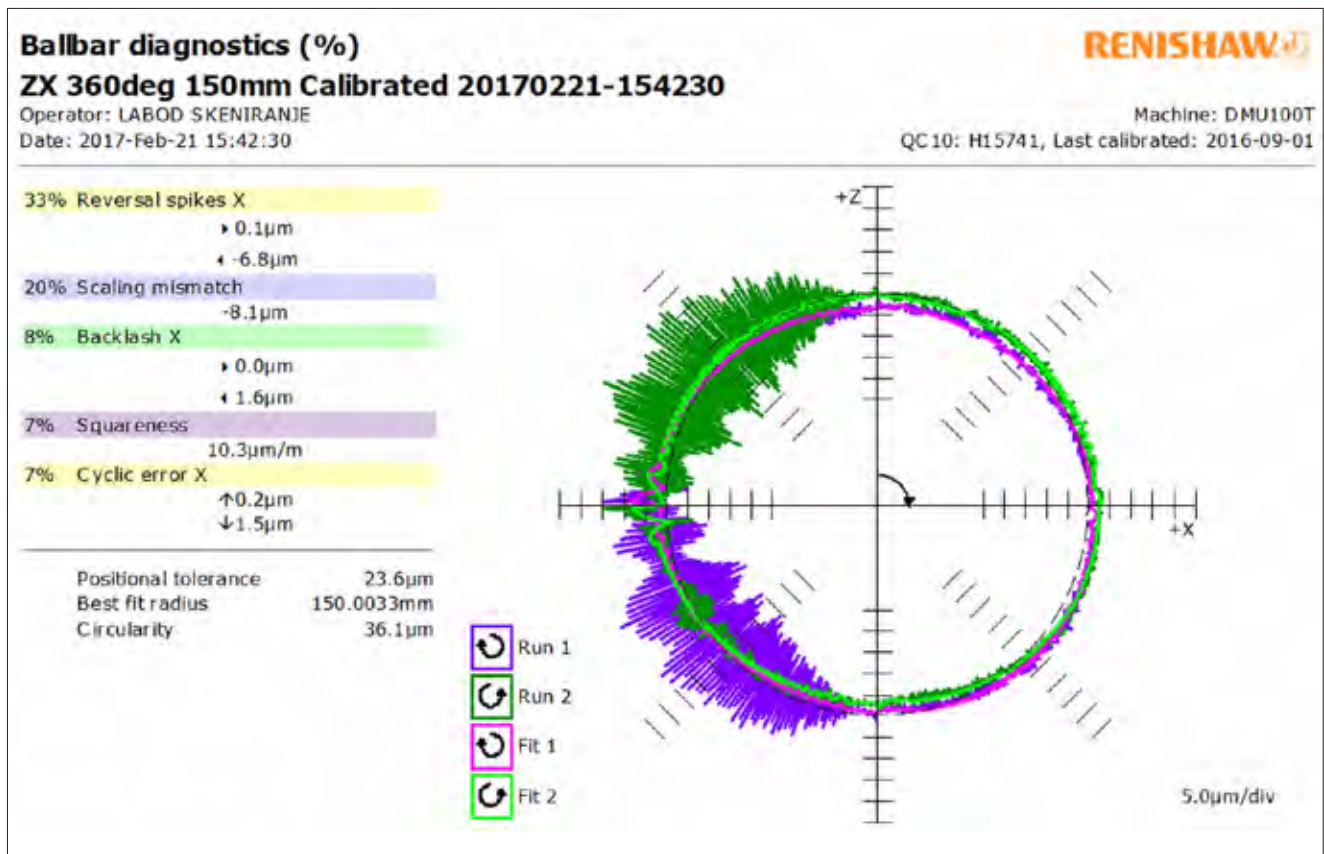
V ravnini XZ (*slika 18*) znaša pozicijska točnost po vnosu linearnih kompenzacij skale stroja cca 24 µm, krožnost pa 36 µm. Kot glavna napaka se pojavljajo »napake pri prehodu med osmi« v osi X in vibracije.



Slika 16 : Končni rezultati testa Ballbar v ravnini XY



Slika 17 : Končni rezultati testa Ballbar v ravnini YZ



Slika 18 : Končni rezultati testa Ballbar v ravnini XZ

5 Končne ugotovitve

Kakovost vsakega izdelka, izdelanega na CNC-obdelovalnem stroju, je nedvomno odvisna od točnosti stroja. Težave s točnostjo strojev neizbežno privedejo do podaljšanja časa obdelave, do izmeta in nepričakovanih izpadov v proizvodnji.

Postopki kontrole in zagotavljanja kakovosti prepogosto identificirajo nastale težave šele tedaj, ko so proizvodi že izdelani, torej prepozno, da bi se izognili izmetu in stroškom izpada proizvodnje. Zato je bistveno, da zmogljivost stroja kontroliramo že pred začetkom dela ter nato periodično med obratovanjem. S stalnim nadzorom natančnosti stroja si lahko ustvarimo kronologijo stroja, opazujemo morebitno napredovanje napak, s tem pa tudi predvidimo potrebna vzdrževalna dela.

V delu je predstavljen primer umerjanja CNC-stroja. Uporabljena merilna sistema sta hitra in učinkovita rešitev za preverjanje geometrijske natančnosti obdelovalnih strojev in njihovo umerjanje.

Iz predstavljenih rezultatov je razvidno, da sta bili izboljšani pozicijska točnost in krožnost v vseh ravninah. V večini primerov so rezultati sedaj boljši od začetnih (merjenih pred nakupom). Izboljšanje gre poleg izvedbi ponovne kompenzacije stroja

pripisati tudi mehanskim posegom, ki so bili opravljeni na stroju.

V splošnem bi lahko pozicijsko točnost stroja ocenili na cca 20 µm in krožnost na cca 30 µm pri predpostavki, da so meritve opravljene v neobremenjenem stanju stroja. Pozicijsko točnost lahko teoretično direktno primerjamo z zmožnostjo doseganja geometrijskih toleranc na izdelku, medtem ko krožnost vpliva na točnost izdelave izvrtin z uporabo krožne interpolacije.

Viri

- [1] H. Schwenke, W. Knapp, H. Haitjema, A. Weckenmann, R. Schmitt, F. Delbressine, Geometric error measurement and compensation of machines—an update. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 57 (2) (2008), pp. 660-675.
- [2] Heidenhain iTNC 530 technical manual. Heidenhain, November 2008.

CNC Machine Tools Positional Tolerance Measurement and Linear Axis Calibration

Abstract:

The needs of modern industry to meet narrow tolerances and requirements of international quality standards have led to the fact that the capacity of product machines is more important as ever. Accurate product reflects a geometric accuracy of a CNC machine-tool. In addition to traditional measurements with a measuring gauge, the accuracy test of the CNC machine tool can be performed with a Ballbar test. Additionally, the positional tolerance of the axis movement can be measured with the high accurate laser interferometer. Based on the results, different errors can be eliminated with the correction of parameters in the CNC machine tool controller, and thus improve the positioning accuracy and circularity of CNC machine tool. These parameters have a decisive impact on the surface quality and dimensional accuracy of products. In the paper, an industrial case study of measurement of geometrical accuracy and linear axis positional tolerance compensation is presented.

Keywords:

Geometrical accuracy, positional tolerance, CNC machine-tool, Ballbar device, CNC machine-tool calibration.

Za uspešno delo s strojem, njegovo vzdrževanje in varno uporabo, kot tudi za razumevanje posebnosti v delovanju ter za prepoznavanje napak in nevarnosti..., so potrebna specialna znanja. Ta z leti zbledijo, ali pa jih je šele potrebno pridobiti. Nenehno izobraževanje je danes nuja!

Komu so tečaji namenjeni?

Tečaji so namenjeni strokovnemu in vodstvenemu kadru, serviserjem in monterjem naprav z vgrajeno hidravlično in pnevmatično opremo ter krmiljem... oz. vsem, ki se pri svojem delu srečujejo s tovrstnimi napravami in tovrstno tehniko.

Tečaji so zasnovani tako, da v okviru osnovnega tečaja spoznamo osnove, ki jih nato v okviru nadaljevalnega tečaja nadgradimo ali razširimo z drugimi tematskimi tečaji.

Način podajanja znanja in oprema

Vsak tečaj sestoji iz teoretičnega in praktičnega dela, pri čemer pomen teoretičnih osnov podkrepimo s kratkimi izračuni in v nadaljevanju še z obsežnim praktičnim delom. Slednje izvajamo na realni industrijski opremi in ob realnih obratovalnih pogojih. Izvedba tečaja je prijazna udeležencu in naravnana na čim bolj učinkovito pridobivanje znanja.



Univerza v Mariboru

IZOBRAŽUJEMO ZA INDUSTRIJO

Hidravlika

Pnevmatika

Uvod v tribologijo in maziva

Nega maziv

Uvod v avtomatizacijo

FS

Fakulteta za strojništvo

Znanje z leti zbledi, ga enostavno ni ali pa se pojavijo potrebe po novih znanjih.

Obnovite ali pridobite ga!

Več informacij o tečajih najdete na:

e-mail: laoh@um.si

<http://laoh.fs.um.si/>

Tel.: (02) 220 7611