

Borojev, Lj., Zeljković, M., Rekecki, J., Gatalo, R.,\*  
Andrić, J., Šijakov, V.\*\*

ORIGINALNI NAUČNI RAD

PRILOG ISPITIVANJU PONAŠANJA VITALNIH  
ELEMENTA OBRADNOG CENTRA

CONTRIBUTION TO INVESTIGATION OF BEHAVIOUR  
OF MACHINING CENTER VITAL ELEMENTS

*Summary*

*The paper deals with some results originated in collaboration between Institute for production engineering and one domestic machine tool producer. These results relate to the development of new solutions of some horizontal machining center elements. So that, the special attention is paid to elements analysis. That is indispensable for making the best choice of significant machine modules, among all varieties of up-to-date solutions.*

*For having insight into performances and working behaviour of realized machine with new modules, some experimental investigation have been performed.*

*A part of obtained results are given in this paper. They are related to static and heat behaviour. The static characteristic and stiffness of spindle unit are determined. It has been done for radial and axial direction, loading the spindle nose in both senses.*

*The temperature rise curves for several rotation speeds are defined as well.*

*The results of starting force investigation for two guide types (TURCIT slide ways and STAR roller ways) are given too. Finally the machining center noise level is presented.*

---

\* ) Rekecki dr Jožef, red. prof., Gatalo dr Ratko, red. prof., Borojev mr Ljubomir, asistent, Zeljković mr Milan, asistent, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, V. Perića Valtera 2

\*\* ) Andrić Josip, dipl.ing., Šijakov Vasa, dipl.ing., "Majevisa", Bačka Palanka

## R e z i m e

U okviru saradnje Instituta za proizvodno mašinstvo i jednog domaćeg proizvođača mašina alatki, razvijena su nova rešenja pojedinih elemenata obradnog centra. Pri tome je posebna pažnja posvećena analizi savremenih rešenja i izboru mogućih varijanti značajnijih modula strukture mašine. Radi uvida u njihov kvalitet i ponašanje u eksploatacionim uslovima, izvršena su i svestrana eksperimentalna istraživanja. Deo tih originalnih rezultata, vezan za statičko i toplotno ponašanje sklopa glavnog vretena, te sile pokretanja klizača za razne tipove vodjica, kao i bučnost mašine, prikazan je u ovom radu.

### 1.0 UVOD

Jednu od značajnijih faza razvoja proizvoda, posebno sredstava za proizvodnju, predstavlja eksperimentalno ispitivanje realizovanog rešenja. U cilju osavremenjavanja konstrukcije obradnog centra jednog domaćeg proizvođača mašina alatki, izvedena je analiza postojećeg rešenja i razmotreni elementi strukture koje treba rekonstruisati. Pri tome je posebna pažnja posvećena modularnosti novo projektovanog rešenja i zadovoljenju zahteva u smislu povećanja brzohodnosti svih kretanja. Zbog toga su detaljno analizirane koncepcije mogućih varijanti elemenata za oslanjanje, tj. uležištenje glavnog vretena i vodjenje klizača obradnog centra. Na osnovu ovih analiza definisana su konkretna konstrukciona rešenja i izveden prototip obradnog centra. U cilju provere istog izvršena su eksperimentalna ispitivanja čiji je deo prikazan u radu.

### 2.0 VARIJANTE REŠENJA OSLANJANJA POKRETNIH ELEMENATA OBRADNOG CENTRA

Strukturu obradnog centra čini niz komponenata koje su medjusobno u čvrstoj ili pokretnoj vezi. Od posebnog značaja za radnu tačnost su pokretne veze i one u najvećem broju slučajeva obezbeđuju translatorno, rotaciono i zavojno kretanje. Pri tome se preko ovih veza vrši i prenos opterećenja sa jednog na drugi relativno pokretni element. To je moguće izvesti neposredno ili posredno preko čvrstih elemenata, fluida ili magnetnog polja. Ovo je podloga za jednu od klasifikacija pokretnih veza rotacionog kretanja - ležišta, i translatornog kretanja - klizača. Oni prema tome mogu biti klizni, kotrljajni, aero- i hidro-statički i magnetni.

### 2.1 KARAKTERISTIKE POJEDINIH REŠENJA SKLOPA GLAVNOG VRETENA

Modul glavnog kretanja kod obradnog centra obezbeđuje obrtno kretanje glavnog vretena, a ponekad i zadani položaj alata prema drugim elementima mašine. Klasifikaciju ovog modula moguće je izvršiti prema:

- maksimalnom broju obrtaja glavnog vretena (normalni do 3000 |o/min|; povišeni do 6000 |o/min|; visok do 20.000 |o/min| i supervisok do 60.000 |o/min| );
- tipu pogona glavnog kretanja ( s asinhronim elektromotorom, s tiristorski regulisanim elektromotorom, s asinhronim elektromotorom promenljive frekvencije);
- načinu ugradnje modula pinole (modul pinole ugradjen u prenosnu strukturu ili odvojen od prenosne strukture).

Ovde se pažnja posvećuje samo modulu pinole, koji predstavlja uležišteno glavno vreteno sa elementima za prenos obrtnog momenta i ugradnju u modul glavnog kretanja. Često se modul pinole glavnog vretena naziva i sklop (sistem) glavnog vretena. Karakteristike glavnog vretena kao osnovnog elementa modula glavnog kretanja imaju značajan, često limitirajući, uticaj na tačnost, proizvodnost

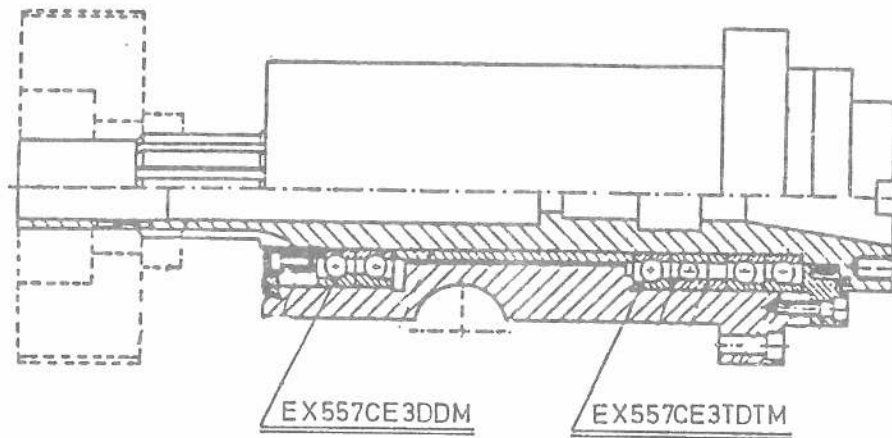
i uopšte kvalitet cele mašine. Zbog toga je neophodno da modul pinole zadovolji zahteve vezane za:

- *Tačnost*, definisanu radijalnim i aksijalnim bacanjem vrha vretena;
- *Krutost* (radijalnu i aksijalnu) odredjenu deformacijom vretena pod opterećenjem ;
- *Dinamičku stabilnost*, definisanu amplitudom vibracija vrha vretena i vrednošću sopstvenih frekvencija ;
- Minimalni *porast temperature i male toplotne deformacije* glavnog vretena;
- Dug *vek* sklopa glavnog vretena, koji prvenstveno zavisi od veka ležišta;
- Brzo i tačno *automatsko stezanje alata*;
- Minimalne *troškove* izrade, montaže i eksploatacije.

Konstrukcija sklopa glavnog vretena, pored vrste i dimenzija mašine, zavisi od klase tačnosti i definisanih glavnih karakteristika. Sam oblik glavnog vretena donekle definiše tip i vrsta uležištenja, vrsta pogonskog elementa, oblik glave vretena, potrebna konfiguracija unutrašnje površine, način podmazivanja i zaprtivanja. Oblik vrha glavnog vretena zavisi od namene, odnosno da li se u glavno vreteno steže obradak ili alat i koje vrste alata se stežu. Kod obradnih centara se prihvatanje alata vrši posredstvom konusa  $7/24$ , a prenošenje obrtnog momenta putem dva radijalna klina. Konfiguracija unutrašnje površine vretena treba da je prilagodjena uredjaju za automatsko stezanje i otpuštanje alata. Tip prenosnog elementa (za prenošenje obrtnog momenta na glavno vreteno) u prvom redu zavisi od broja obrtaja, veličine opterećenja, kao i opšte kompozicije modula glavnog kretanja. Zupčasti prenosni elementi su najkompaktniji, prosti, prenose velike obrtne momente, ali su izvori dinamičke nestabilnosti i bučnosti, te se ne koriste kod preciznih mašina i pri visokim brojevima obrtaja. Pri korišćenju kaišnih prenosnih elemenata, rastu dimenzije, posebno ako je kaišnik uležišten zasebno u cilju rasterećenja glavnog vretena od radijalne sile. Medjutim, kod kaišnog prenosnika su manje dinamičke sile i mogu se koristiti za više brojeve obrtaja. Izbor tipa uležištenja zavisi od zahtevane tačnosti obrade i brzohodosti koja se definiše brzinskim parametrom " $d \cdot n$ " [mm/min]. Kako kotrljajna ležišta imaju najnižu cenu izrade i eksploatacije, to se u današnje vreme u preko 95 % mašina alatki koriste ova ležišta. Pri tome treba imati u vidu i savremene tendencije u smislu povećanja broja obrtaja zbog brzine rezanja koju zahtevaju savremeni rezni alati. U cilju obezbedjenja velike nosivosti, tačnosti obrtanja, visoke krutosti i minimalnog zagrevanja koriste se kotrljajna ležišta specijalno razvijena za mašine alatke. Za prenošenje radijalnog opterećenja često se koriste dvoreda cilindrično-valjčasta ležišta tipa NN ... , pri čemu dva reda preciznih valjčića, naizmenično postavljena u odgovarajućem kavezu, obezbedjuju nosivost i krutost ležišta uz visoku tačnost obrtanja. Sem ovih, za prenošenje radijalnih opterećenja koriste se i kuglična ležišta sa kosim dodirom ("O", "X", "T" i "TO" način ugradnje). Prenosnje aksijalnog opterećenja vrši se preko kugličnih aksijalnih ležišta, kugličnih ležišta sa kosim dodirom ( $\alpha = 15^\circ$ ,  $\alpha = 25^\circ$ ) ili "dvostrukih kugličnih ležišta sa kosim dodirom" ( $\alpha = 40^\circ$ ,  $\alpha = 60^\circ$  - SKF). Podmazivanje ležišta se uglavnom vrši mašću - trajno podmazana ležišta. Pri podmazivanju uljem treba voditi računa o mestu dovodjenja ulja, kao i načinu sakupljanja i odvodjenja istog iz ležišta. Sredstvo za hladjenje se obično dovodi kroz kućište pinole na mlaznice spolja fiksirane na čelo pinole. Izuzetno se javlja i varijanta dovodjenja sredstva za hladjenje i podmazivanje kroz osu vretena. Ovakva varijanta je posebno pogodna kod bušenja dubokih otvora, gde se sredstvo za hladjenje direktno kroz alat dovodi na reznju pločicu. Centralni otvor u sistemu za automatsko stezanje alata je obično predviđen za dovod vazduha pod pritiskom na unutrašnju konusnu površinu vretena u cilju čišćenja iste, kako bi se alat mogao dobro i tačno pozicionirati. Kod uredjaja za automatsko stezanje i otpuštanje alata, stezanje se vrši uglavnom oprugama, a

odpuštanje hidrocilindrom.

Na osnovu prethodno izloženog i imajući u vidu da se u konkretnim uslovima radi o sklopu glavnog vretena namenjenog za horizontalni centar manjih dimenzija koji služi za lakše uslove obrade sa povišenim brojevima obrtaja, definisano je konstrukciono rešenje ovog sklopa prema slici 1.



Sl. 1 Konstrukciono rešenje sklopa glavnog vretena ispitivanog obradnog centra

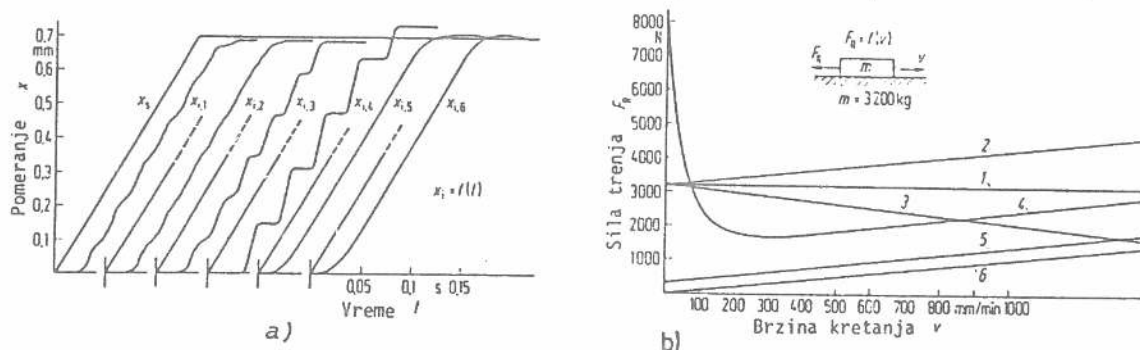
Fig. 1 The design solution of investigated machining center main spindle assembly

## 2.2 KARAKTERISTIKE POJEDINIH REŠENJA ELEMENATA VODJENJA

Osnovni zahtevi sa stanovišta tačnosti koje treba da obezbedi sistem pomoćnog kretanja su ravnomernost kretanja i tačnost pozicioniranja, odnosno što je moguće manje odstupanje stvarne od teorijske putanje klizača. Za to je potrebno da elementi prenosne strukture imaju:

- malu masu, odnosno moment inercije mase,
- veliku krutost
- veliko prigušenje.

Kod elemenata vodjenja prisutan je i dopunski zahtev u pogledu trenja. Na slici 2a. je prikazano nekoliko slučajeva kretanja ostvarenih uz odgovarajuću karakteristiku trenja, odnosno zavisnost sile trenja od brzine prema slici 2b.



Sl. 2 Primeri putanja pravolinijskog kretanja (a) sa odgovarajućim karakteristikama otpora trenja (b) [5]

Fig. 2 Linear motion paths (a) with appropriate friction resistance characteristics (b) [5]

Iz navedenog primera je očito da se ravnomernost kretanja ostvaruje karakteristikom trenja proporcionalnoj brzini, uz što manju razliku statičkog i kineti-

čkog koeficijenta trenja. Najčešće primenjene vodjice u praksi su klizne, pa kotrljajne i redje hidrostatičke. Ova tri tipa odgovaraju slučajevima 4, 5 i 6 na sl. 2.

*Klizne vodjice* odlikuju se velikom moći nošenja, velikom krutošću i prigušenjem. Osnovni nedostatak im je velik koeficijent trenja što je nepovoljno zbog povećanih gubitaka. Visoka vrednost statičkog koeficijenta trenja zahteva velike početne sile za pokretanje iz stanja mirovanja. U području mešovito g trenja - do minimuma funkcije trenje je obrnuto proporcionalno brzini kretanja. Zbog toga je tu naročito izražena neravnomernost kretanja. U nekim slučajevima može doći čak i do povremenih zaustavljanja pokretnih elemenata, tj. do tzv. skakutajućeg kretanja (*stick-slip*). U području od minimuma funkcije trenja kretanje se odvija ravnomerno zbog ostvarenih uslova tekućeg trenja, tj. bez prisustva metalnog kontakta relativno pokretnih elemenata. Takav princip rada primenjuje se prvenstveno kod rotacionog kretanja i to su hidrodinamička ležišta. Problem neravnomernosti kretanja kod kliznih vodjica, prisutan zbog malih brzina pri translaciji, rešava se uticanjem na masu, krutost i prigušenje. Pri projektovanju sistema pomoćnog kretanja treba obezbediti odgovarajuću krutost prenosnih elemenata, veličinu klizne površine kojom se ostvaruje dozvoljen pritisak, i odgovarajuće prigušenje izborom adekvatnog ulja. Veće prigušenje obezbeđuje se uljima višeg viskoziteta, ali je to praćeno i povećanjem gubitaka usled zagrevanja zbog većeg trenja. Kompromisno rešenje predstavljaju specijalna ulja sa aditivima. Na ponašanje sistema pomoćnog kretanja utiče i materijal elemenata kliznih površina, kao i kvalitet tih površina. Osim konvencionalnih metalnih materijala koji se koriste za ove elemente, primenjuju se i nemetalni materijali. Jedan od njih je na bazi politetrafluoretilena - PTFE (različitog sastava i komercijalnog naziva: TURCIT, MOGLICE, ...). Osnovna prednost ovakvih materijala je mali koeficijent trenja što je ilustrovano tabelom na slici 3.

Spregnuti materijali	koeficijant trenja			
	statički		kinematski	
	suvo	podmaz.	suvo	podmaz.
čelik - čelik	0,18	0,12	0,10	0,09
čelik - sivi liv	0,19	0,10	0,16	0,10
čelik - bronza	0,11	0,10	0,10	0,09
čelik - TURCIT				0,04-0,08

Sl. 3 Primeri koeficijenta trenja klizanja

Fig. 3 Examples of friction coefficient for sliding

*Kotrljajne vodjice* imaju veoma mali koeficijent trenja (oko 0,004). Zbog male razlike statičkog i kinetičkog koeficijenta trenja obezbeđuju visoku ravnomernost kretanja. Nedostatak im je malo prigušenje, pa su sklone dinamičkoj nestabilnosti.

U praksi je prisutan veliki broj različitih konstrukcionih varijanti, pa je i njihova klasifikacija moguća prema raznim kriterijumima. Ovde se navode neke od podela uz ilustraciju nekoliko rešenja na slici 4.

Prema obliku kotrljajnih tela:

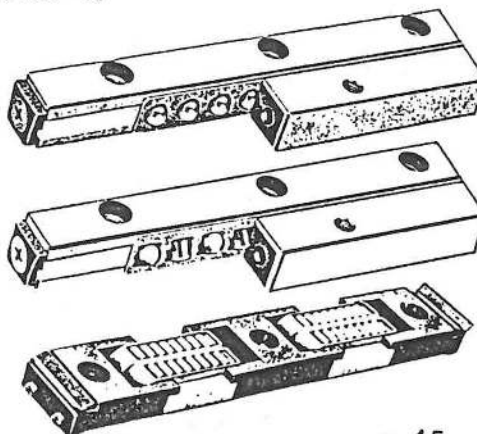
- sa kuglicama
- sa valjcima

Prema putanji kotrljajnih tela:

- bez recirkulacije
- sa recirkulacijom

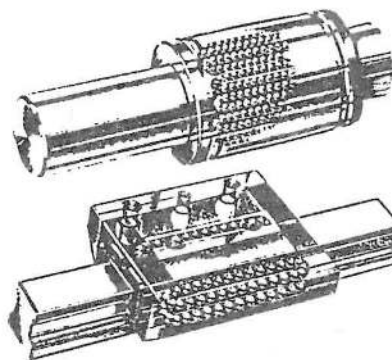
Prema obliku kotrljajne staze (za vodjice sa kuglicama):

- ravne
- sa kružnim žljebom i kontaktom u jednoj tački
- sa kružnim žljebovima i kontaktom u dve tačke



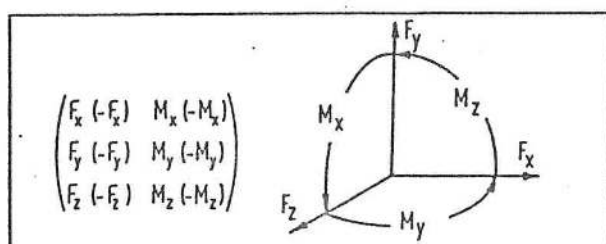
Prema obliku vodjice:

- kružne
- trouglaste
- prizmatične



Prema mogućnosti opterećenja (matrici opterećenja) - prema slici 5 | 3| .

Sl.4 Primeri kotrljajnih elemenata vodjenja  
Fig.4 Examples of rolling elements for guidance



Belastbarkeit	z	y	x	Primeri	z	y	x
$\begin{pmatrix} 00 & 00 \\ 01 & 00 \\ 00 & 00 \end{pmatrix}$							

Mat. "OPTER"	z	y	x	Primeri	z	y	x
$\begin{pmatrix} 00 & 11 \\ 01 & 11 \\ 11 & 00 \end{pmatrix}$							
$\begin{pmatrix} 00 & 00 \\ 11 & 11 \\ 11 & 11 \end{pmatrix}$							
$\begin{pmatrix} 00 & 11 \\ 11 & 11 \\ 11 & 11 \end{pmatrix}$							

Sl. 5 Matrica opterećenja kotrljajnih elemenata sa tipičnim primerima

Fig. 5 Load matrix of rolling elements with typical examples

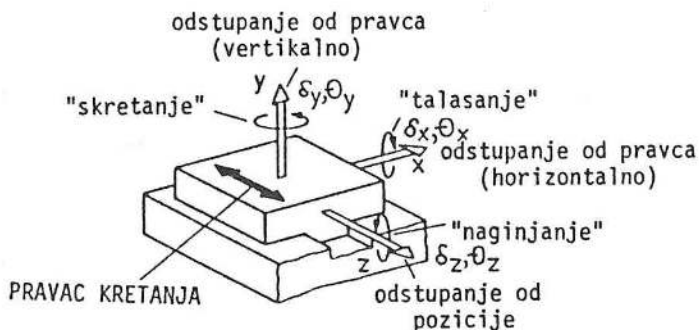
Za razne varijante elemenata vodjenja moguća je i dalja, detaljnija klasifikacija. Na obradnim centrima sa kotrljajnim vodjicama primenjuju se najčešće elementi vodjenja zadnje navedene matrice opterećenja na sl. 5. Na njihovom primeru ilustruje se detaljnije klasifikacija, koja je u ovom slučaju prema tačnosti i prednaprezanju.

- Prema tačnosti:
- normalna (tačnost)
  - visoka (tačnost)
  - precizna
  - super precizna
  - ultra precizna.

- Prema prednaprezanju:
- bez prednaprezanja
  - sa prednaprezanjem
  - u dva i/ili tri stupnja

Hidrostatičke vodjice su u poredjenju sa prethodne dva tipa, najbolje po pitanju trenja i habanja. Obzirom na prisustvo fluidnog trenja, ravnomernost kretanja je velika. Praktično zanemariiva razlika izmedju statičkog i kinetičkog koeficijenta trenja manifestuje se malim silama potrebnim za pokretanje, a odsustvo metalnog kontakta relativno pokretnih elemenata obezbedjuje dug vek uz veliku tačnost i dinamičku stabilnost. Visoku krutost hidrostatičkih vodjica moguće je ostvariti odgovarajućim sistemom napajanja uljem i tipom prigušnika. Glavni razlog relativno retke primene ovog tipa vodjica je cena, jer su investicioni i tekući troškovi veći nego kod kliznih i kotrljajnih vodjica.

Ravnomernost kretanja i tačnost pozicioniranja odnose se isključivo na jednu osu. Greške kretanja su prisutne kao linearna odstupanja i u pravcu drugih osa, kao i zakretanja oko sve tri ose, prema slici 6 [6]. Ova odstupanja vezana su prvenstveno za geometrijsku tačnost elemenata vodjenja i nosećih elemenata, kao i montažu.



Sl. 6 Odstupanja pri kretanju klizača mašine alatke  
Fig. 6 Deflections by motion of machine tool slider

Na ispitivanom obradnom centru ugrađene su dve varijante vodjica:

- |   |   |
|---|---|
| a) klizne vodjice obložene TURCIT materijalom, podmazivane uljem sa aditivima POLAR K55 | b) kotrljajne vodjice STAR 1604-421-10 (precizne sa prvim stupnjem prednaprezanja), podmazivane mašću ORCANOL L 135 |
|---|---|

### 3.0 IZVEDENA ISPITIVANJA SA REZULTATIMA

Ispitivani horizontalni obradni centar je namenjen za obradu delova manjih i srednjih dimenzija u uslovima malo i srednje serijske proizvodnje. Omogućava konturno glodanje, bušenje, izradu navoja i unutrašnje struganje, uz automatsku izmenu alata posredstvom manipulatora, kao i automatsku izmenu obradka primenom paletnog sistema. Njegovi osnovni elementi i sklopovi su: postole, poprečni sto, radni sto, obrtni radni sto, stub, kućište jedinice pinole, jedinica pinole, pogonski motori, magacin alata, izmenjivač (manipulator) alata, paletni sistem, hidroagregat, sistem za hladjenje i upravljačka jedinica.

Konstrukcioni detalji od značaja za izvedena ispitivanja su:

#### Glavno vreteno

- prečnik vrha vretena	120 [mm]
- prečnik prednjeg ležišta	55 [mm]
- tip ležišta	sa kosim dodirom ugla kontakta 25 °
- pogonski motor	jednosmerni 13 [kW]
- brojevi obrtaja	45± 4500 [o/min]

#### Klizači

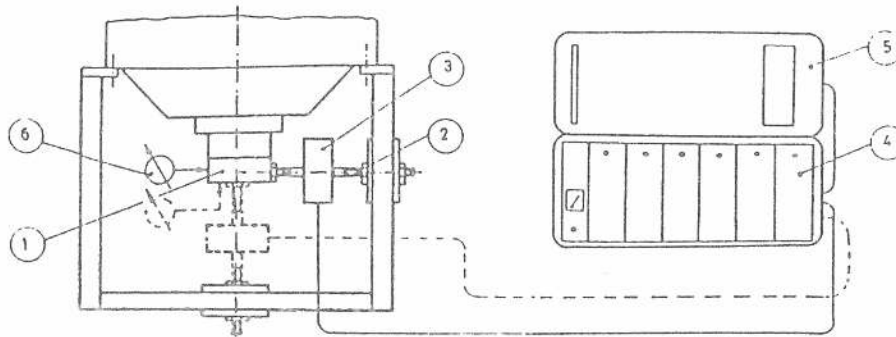
- uzdužni hod	650 [mm]
- poprečni hod	450 [mm]
- brzina brzog hoda	15 [m/min]
- brzina radnog hoda	0±2000 [mm/min]
- vodjice	- klizne obložene TURCIT-om - kotrljajne, prizmatične, sa recirkulacijom kuglica

### 3.1 ISPITIVANJE STATIČKE KRUTOSTI

Ispitivanje statičke krutosti horizontalnog obradnog centra izvedeno je samo u smislu identifikacije statičkog ponašanja modula pinole. Pri tome se podrazumeva određivanje statičke karakteristike i statičke krutosti. Pri ispitivanju statičkog ponašanja modula pinole korišćena je tzv. metoda višestruko ponovljenog opterećenja.

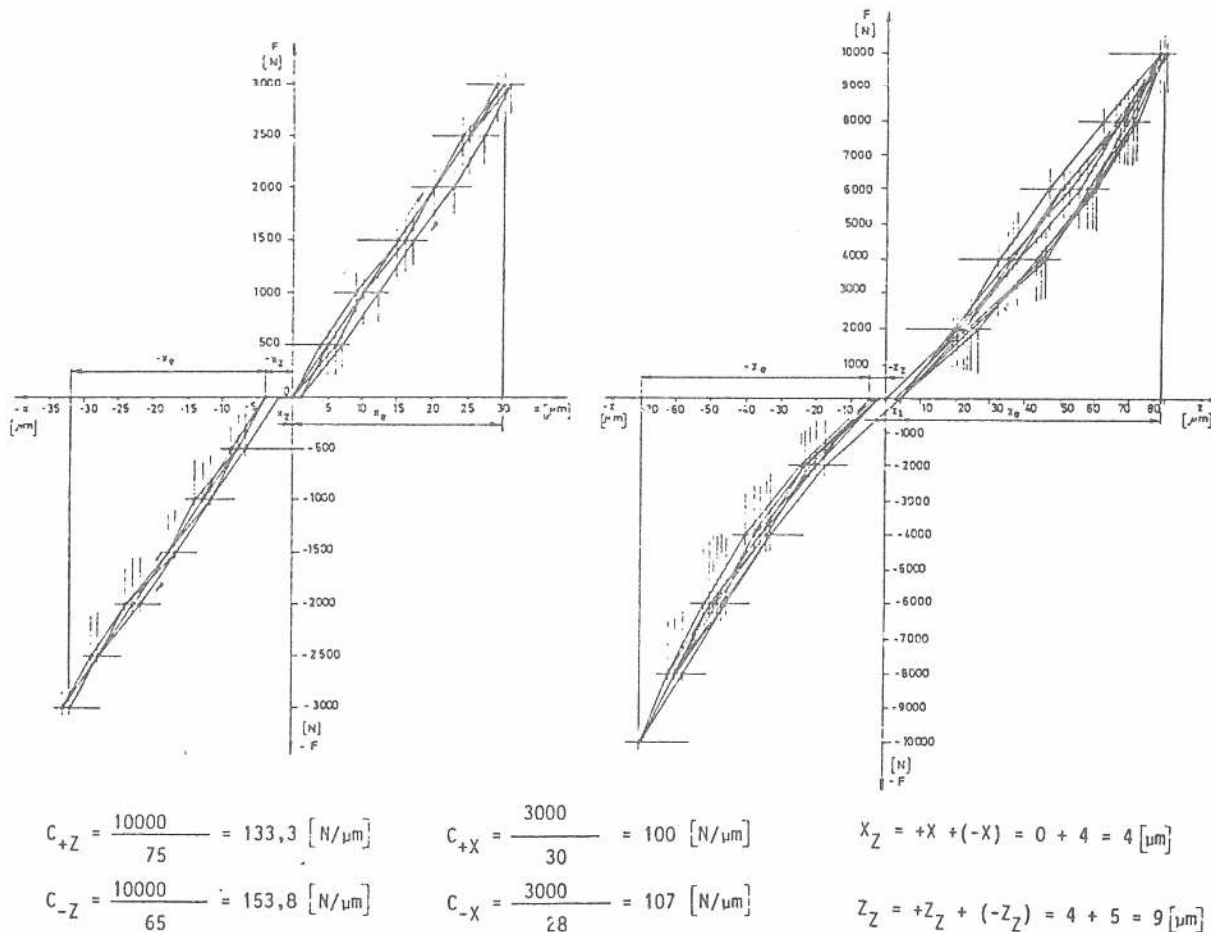
Ispitivanje statičkog ponašanja modula pinole vršeno je u radijalnom i aksija-

Inom pravcu i to u oba smera dejstva opterećenja. Šematski prikaz ispitivanja statičkog ponašanja dat je na slici 7.



Sl. 7 Šema ispitivanja statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena  
Fig. 7 The scheme of spindle unit static behaviour examination

Generisanje statičke sile opterećenja izvodjeno je ručno pomoću vijka (2) stegnutog na vrh vretena pomoću ploče (1). Pri tome je vršeno merenje sile opterećenja pomoću dinamometra (3) i pojačivača (4), uz registrovanje pomoću svetlosnog pisača (5). Merenje pomeraja izvedeno je pomoću komparatora (6). Sistem za generisanje sile je tako projektovan da može obezbediti opterećenje u oba smera "+" i "-" i to u pravcu "X" i "Z" ose. Na ovaj način dobivena je kompletna statička karakteristika prikazana na slici 8, i prema njoj je određena krutost vretena i zazor u radijalnom i aksijalnom pravcu.

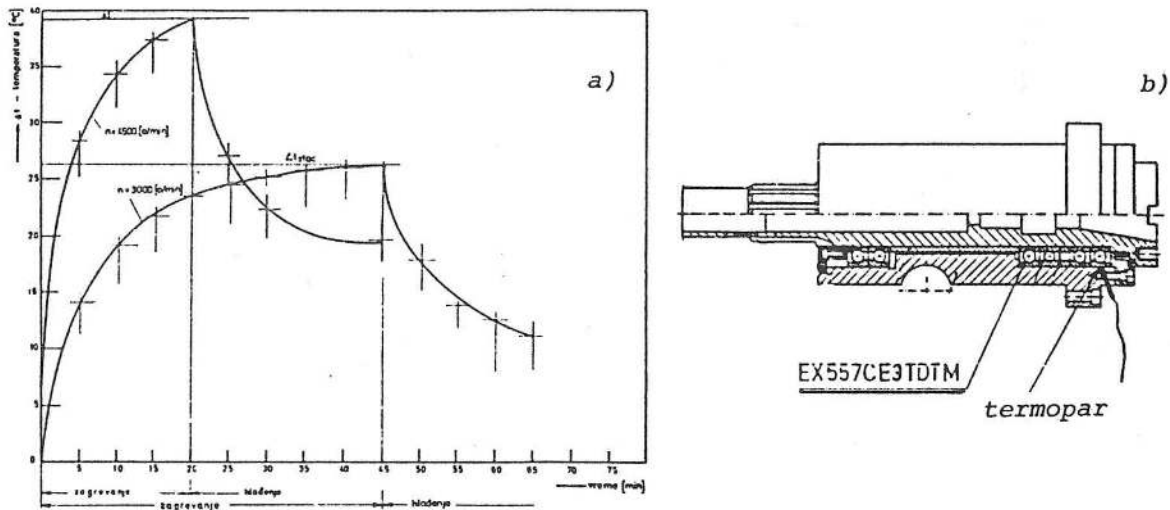


Sl. 8 Statička karakteristika glavnog vretena u radijalnom i aksijalnom pravcu  
Fig. 8 Main spindle static characteristic in radial and axial direction



### 3.2 ISPITIVANJE TEMPERATURNOG PONAŠANJA

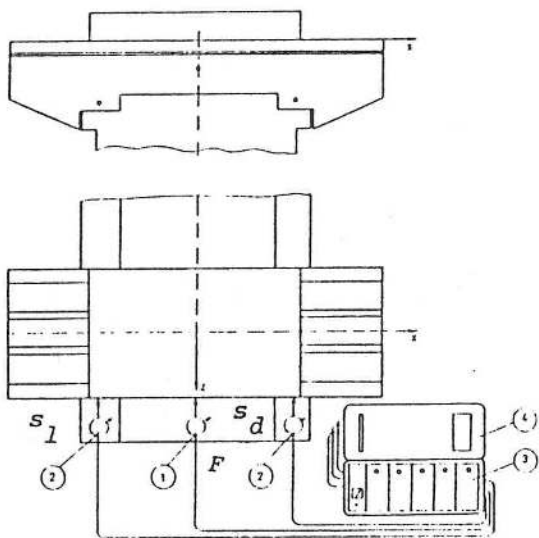
Ispitivanje temperaturnog ponašanja vršeno je za dva broja obrtaja u desnom smeru obrtanja glavnog vretena, pri radu mašine u praznom hodu. Registrovanje temperaturnog ponašanja vršeno je merenjem temperature spoljnog prstena prednjeg ležišta glavnog vretena. U tu svrhu izbušena je čaura pinole tako da se mer-ni davač (termopar) mogao direktno nasloniti na spoljni prsten ležišta. Vremenski interval između pojedinih merenja u procesu zagrevanja iznosio je 5 [min], a u procesu hladjenja 5 ili 15 [min], zavisno od broja obrtaja. Temperaturne krive i skica merenja prikazani su na slici 9.



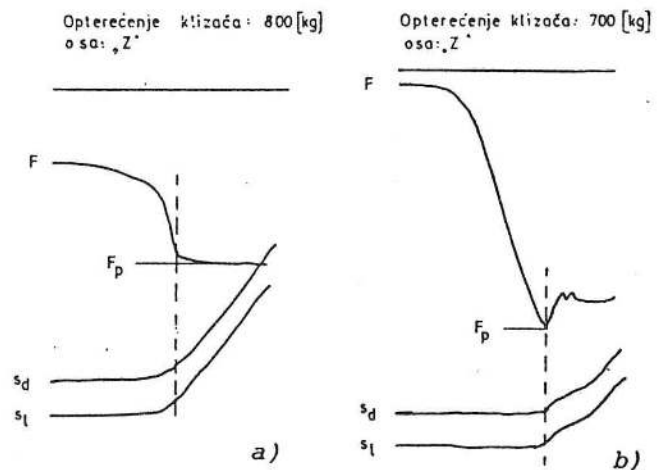
Sl. 9 Temperaturne krive prednjeg ležišta (a) sa šemom merenja (b)  
Fig. 9 Front bearing temperature curves (a) with measurement scheme (b)

### 3.3 ISPITIVANJE SILE POKRETANJA KLIZAČA

Odredjivanje veličine sile potrebne za pokretanje klizača iz stanja mirovanja ( $F_p$ ) izvedeno je za dva tipa vodjica: kotrljajne i obložene klizne, i to za oba klizača, tj. u pravcu "X" i "Z" ose. Dispozicija merenja za jednu osu prikazana je na slici 10.



Sl. 10 Šema merenja sile pokretanja  
Fig.10 The starting force measurement scheme



Sl.11 Primeri zapisa ispitivanja sile pokretanja kotrljajnjih (a) i kliznih (b) vodjica

Fig.11 Record examples of starting force investigation for rolling (a) and sliding (b) guideways

Generisanje sile (F) vršeno je vijkom i navrtkom, na sredini klizača. Registrovanje sile izvedeno je dinamometrom (1), višekanalnim pojačivačem (3) i svetlosnim pisačem (4). Registrovanje pomeranja (s) vršeno je induktivnim davačima (2) i to na obe vodjice klizača. Ispitivanja su izvedena sa različitim opterećenjima. To je ostvareno postavljanjem odgovarajućih masa na klizače. Ilustracija dobivenih zapisa data je na slici 11.

Vrednosti sile pokretanja prikazane su tabelarno na slici 12, uz sve uslove merenja i način podmazivanja.

Spoljno opterećenje klizača [kg]	Osa: "Z" tip: vodjica: STAR 1604-421-10			Osa: "X" Tip vodjica: STAR 1604-421-10		
	100	800	1800	0	300	800
Redni broj merenja	sila pokretanja [N] - $F_p$					
1.	234	225	265	145	140	137,5
2.	225	230	237,5	157	137,5	140
3.	-	-	220	-	-	165
4.	-	-	220	-	-	-
Srednja vrednost	230	227,5	234,375	151	138,75	147,50

Napomena: podmazivanje vodjica: mast orcanol L135

Spoljno opterećenje klizača [kg]	osa: "Z" materijal vodjica: TURCIT	
	200	700
Red. br. merenja	sila pokretanja [N] - $F_p$	
1.	700	1062
2.	656	975
Srednja vrednost	678	1018,5

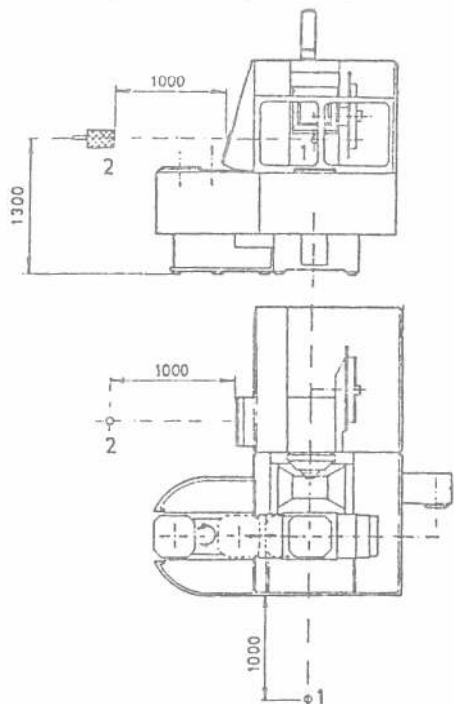
Napomena: Za podmazivanje vodjica koristi se ulje Polar K55

Sl. 12 Rezultati ispitivanja sile pokretanja

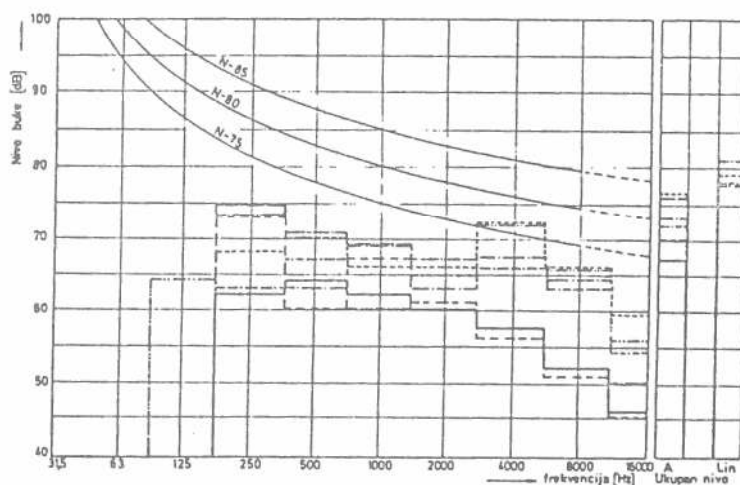
Fig. 12 The results of starting force investigation

### 3.4 ISPITIVANJE BUČNOSTI

Merenje nivoa buke obradnog centra izvedeno je pri njegovom radu u praznom hodu sa desnim smerom obrtanja glavnog vretena. Mikrofon je postavljen u dve tačke prema dispoziciji merenja prikazanoj na slici 13.



n/min	1500	3000	4500
mesto 1	---	---	---
mesto 2	---	---	---



Sl. 13 Dispozicija merenja pri ispitivanju buke

Fig.13 The measurement scheme by noise testing

Sl. 14 Rezultati ispitivanja buke

Fig.14 The results of noise testing

Merenje nivoa buke izvedeno je za tri broja obrtaja, i to ukupni nivo prema Lin i A korekcionoj karakteristici, kao i oktavne komponente spektra buke. Dobiveni rezultati prikazani su dijagramom na slici 14.

#### 4.0 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Rezultati prikazani u radu imaju dvojakii značaj. Prvi se odnosi na konkretne rezultate dobijene eksperimentalnim ispitivanjem, na osnovu kojih se može konstatovati sledeće:

- statička krutost vretena ( $C_v=100\pm 110$  [N/ $\mu$ m] i  $C_a=130\pm 150$  [N/ $\mu$ m]) je u prvom redu definisana krutošću ležišta, dok snimljene statičke karakteristike ukazuju na malu veličinu histerezisa;
- temperatura spoljnog prstena ležišta pri maksimalnom broju obrtaja ukazuje da ovaj predstavlja graničnu vrednost sa stanovišta temperature;
- sila pokretanja klizača sa kotrljajnim vodjicama u ispitivanoj oblasti praktično ne zavisi od opterećenja, što se ne može tvrditi za slučaj primene TURCIT-a;
- buka mašine i pri maksimalnim brojevima obrtaja ne prelaze 78 dB(A), što je zadovoljavajuće za ovaj tip mašine.

Drugi je vezan za značaj eksperimentalnog ispitivanja uopšte. Pri tome se posebno ističe značaj poznavanja veličine sile pokretanja i zakonitosti kretanja klizača u tom režimu rada, kao i zakonitosti promene trenja i prigušenja sa stanovišta mogućnosti matematičkog modeliranja pogona i prenosa kretanja ovih sistema, te pravilnog izbora i upravljanja pogonskim motorima za pojedine ose.

#### 5.0 LITERATURA

- [1] Borojev, Lj., Zeljković, M.: Horizontalni obradni centar - OCM 500, elaborat ispitivanja, Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad, 1990.
- [2] Burek, D., Rösler, H.: Kunststoff-Geradföhrungen für Werkzeugmaschinen, wt-Z. ind Fertig.74(1984)Nr9
- [3] Köcher, H.: Konstruktionskatalog Geradeföhrungen mit Wälzkörpern, VDI-Z Bd.126(1984)Nr 7.
- [4] Rekecki, J., Zeljković, M., Gatalo, R., Borojev, Lj., i dr.: Razvoj vitalnih komponentata NU obradnog centra i fleksibilnih tehnoloških struktura na bazi NU obradnog centra, istraživačko-razvojni projekat, Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad, 1989.
- [5] Stute, G., Wurst, K.H.: Antriebstechnik, Teil 5: Mechanische Übertragungsglieder, wt-Z. ind.Fertig.72(1982)Nr10
- [6] Weck, M.: Werkzeugmaschinen, Band 4: Messtechnische Untersuchung und Beurteilung, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1978.
- [7] : Katalozi proizvođača ležišta i komponenti vodjenja: FAG, SKF, SNFA, THK, STAR, INA, IKO, SCHNEEBERGER, PRECISIEMETAL