

<https://doi.org/10.24867/JPE-1991-08-075>

S. Vasić^{*)}

PREGLEDNI RAD

**ANALIZA KONCEPCIJA MERNO-KONTROLNIH
SISTEMA U FLEKSIBILNIM TEHNOLOŠKIM
SISTEMIMA****

**CONCEPTIONS ANALYSE OF MEASURING
SYSTEMS IN THE FLEXIBLE MANUFACTURING
SYSTEMS****

Summary

Desire for encircling of all activities in manufacturing process by automatization, caused development of manufacturing systems with high integration degree of manufacturing, manipulation, measuring, transportation, storing and control tasks, in other words - FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS (FMS). This is changed comprehends about role and tasks of measuring system - from detection tasks to prevention tasks. Besides of this, there is comprehended that if we are want to truly automate the factory, that is necessary that the dimensional inspection has the same degree of flexibility and automation as the machine tools used for parts fabrication.

Measuring system in FMS ought to involve:

- metrological processes relate to dimensional, form and position measurement of workpieces,*
- metrological processes in connection with detection of tools position and condition,*
- metrological processes which detect machine tools state and theirs functions.*
- metrological processes for storing and material flow inspection.*

In the paper, the conception analyse of measuring systems in flexible manufacturing systems, with stress at workpieces geometrical characteristics measurement is done.

^{*)} Siniša Vasić, dipl.ing., asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića Valtera 2

^{**)} Rad je proizašao iz istraživačkog projekta UNAPREDJENJE NAUČNE KOMPONENTE VASPITNO-OBRAZOVNOG RADA U OBLASTI PROIZVODNOG MAŠINSTVA čiju realizaciju finansira Fond za naučni rad Vojvodine

R e z i m e

Težnja da se sve aktivnosti u okviru proizvodnog procesa obuhvate automatizacijom, dovela je do razvoja proizvodnih sistema sa visokim stepenom integracije obradnih, manipulacionih, merno-kontrolnih, skladišnih i upravljačkih zadataka - do FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH SISTEMA (FTS). Ovo je pak dovelo do promena shvatanja o ulozi i zadacima merno-kontrolnog sistema - od zadataka detekcije ka preventivnim zadacima, kao i do saznanja da merno-kontrolni sistem mora da ima isti stepen automatizacije i fleksibilnosti kao i obradni sistem.

Merno-kontrolni sistem u FTS treba da obuhvati:

- metrološke procese koji se odnose na merenje dimenzija, oblika i položaja delova koji se obradjuju,*
- metrološke procese koji se odnose na odredjivanje položaja i stanja alata,*
- metrološke procese kojima se odredjuje stanje mašine i njenih funkcija,*
- metrološke procese za kontrolu toka i skladištenja materijala.*

U radu je data analiza koncepcija merno-kontrolnih sistema u fleksibilnim tehnološkim sistemima sa akcentom na merenju geometrijskih karakteristika delova koji se obradjuju.

1.0. UVODNE NAPOMENE

Trka za što većim profilom dovodi do sve veće konkurencije medju proizvodjačima, koja se iskazuje kroz zahteve tržišta, što ima za posledicu razvoj i proizvodnju sve kompleksnijih, složenijih i kvalitetnijih proizvoda. Zahtevi tržišta, kao regulatora odnosa u proizvodnji, doveli su do značajnog smanjivanja serija u proizvodnji i do proširivanja asortimana proizvoda. Proizvodna preduzeća su prisiljena da se, radi očuvanja i učvršćenja svojih pozicija na tržištu, osposobe da izradjuju različite proizvode u raznovrsnim varijantama, pri čemu kvalitet proizvoda postaje osnovno merilo njegove promocije na tržištu.

Ovo je, izmedju ostalog, dovelo i do razvoja proizvodnih sistema sa višim ili nižim stepenom integracije obradnih, manipulacionih, merno-kontrolnih i skladišnih funkcija obuhvaćenih centralizovanim upravljanjem preko posebnog procesnog računara, u stručnoj literaturi poznatih pod

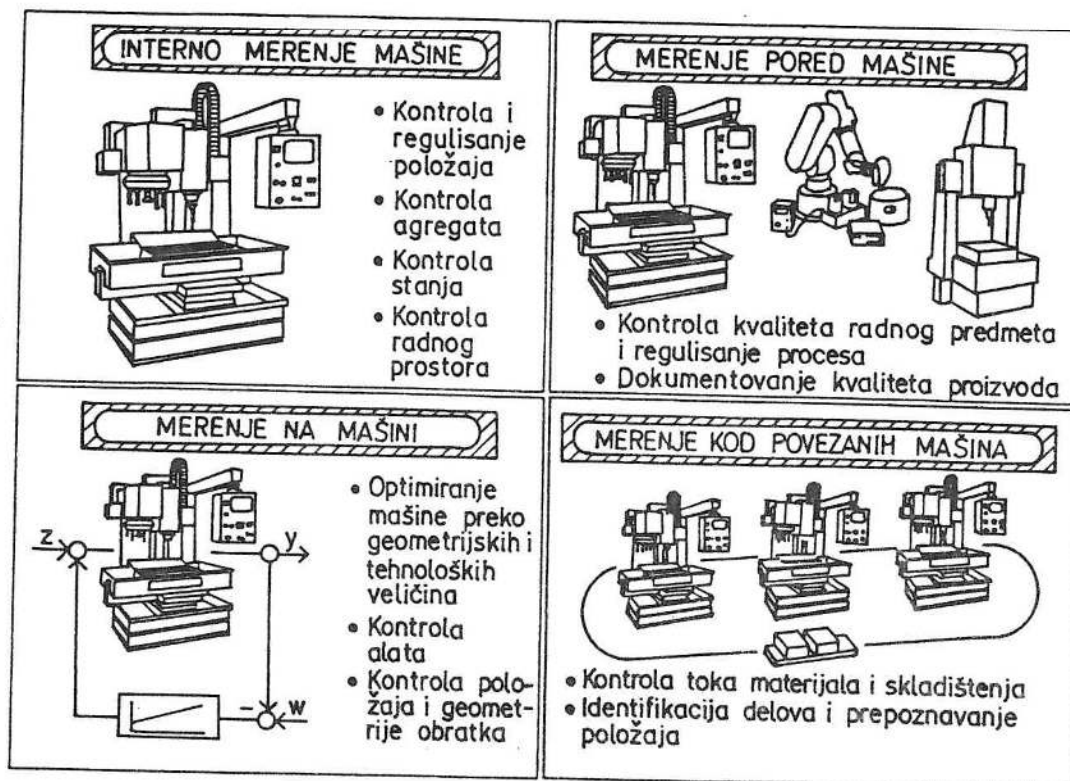
nazivom FLEKSIBILNI TEHNOLOŠKI SISTEMI (FTS).

U radu je data analiza koncepcija merno-kontrolnih sistema u FTS, sa akcentom na merno-kontrolne sisteme namenjene merenju i kontroli dimenzionih karakteristika delova koji se obradjuju u FTS.

2.0. METROLOŠKI ZADACI U FTS

Metrološki zadaci koji se sreću u FTS mogu se svrstati u četiri glavne grupe (slika 1):

- metrološki zadaci vezani za određivanje stanja mašine i njenih osnovnih funkcija,
- metrološki zadaci koji se odnose na određivanje stanja i položaja alata, geometrijskih i tehnoloških parametara procesa,



Slika 1. Metrološki zadaci u FTS [1]

Figure 1. Metrological tasks in FMS [1]

- metrološki zadaci koji se odnose na pre-procesna, procesna i posle-procesna merenja delova koji se obradjuju,
- metrološki zadaci vezani za kontrolu toka i skladištenja materijala, prepoznavanje i identifikovanje delova.

Za istraživanja u ovom radu interesantni su samo metrološki zadaci koji se odnose na obradak kao objekat merenja, a koji su obuhvaćeni trećom grupom gore navedenih zadataka.

Dakle, merenje i kontrolu geometrijskih karakteristika obradaka u FTS moguće je izvesti:

- pre procesa obrade,
- u toku obradnog procesa i
- nakon procesa obrade.

2.1. Merno-kontrolne operacije pre procesa obrade

Merno-kontrolne operacije koje se izvode pre procesa obrade kao objekat merenja imaju pripremak ili obradak. U prvom slučaju cilj merenja je utvrđivanje tačnosti izrade priprema, odnosno dodataka za obradu pre prve operacije mašinske obrade. U drugom slučaju, cilj merenja je eliminacija delova čiji je kvalitet, ostvaren u nekoj prethodnoj operaciji, na nekoj drugoj mašini, van propisanih karakteristika. Stoga se i ovo merenje može podvesti pod merenje priprema. Dakle, cilj pre-procesnog merenja je smanjenje vremena izrade prethodnim eliminisanjem škart delova. Ali i ispravni delovi se razlikuju unutar propisanih dopuštenih granica, te se na neki način pre sledeće obrade mogu klasifikovati. Ovo je značajno i sa stanovišta programske podrške, obzirom da se na ovaj način mogu dobiti informacije kojima se predviđeni tok procesa obrade može modifikovati za svaku klasifikovanu grupu delova ili za svaki konkretni deo.

2.2. Merno-kontrolne operacije u toku obradnog procesa

U ovom slučaju merenje se izvodi na samim mašinama alatkama, pri čemu se obradnom sistemu dodaju merno-kontrolne funkcije, pa se mašina alatka koristi i kao merna mašina.

Ovde je vremenska faza između obrade i merenja najmanja, obzirom da se obradak pri merenju nalazi u radnom prostoru mašine. Informacije koje obezbeđuju ovakvi merno-kontrolni sistemi odnose se na stvarni nivo kvaliteta obratka, te je u zavisnosti od karaktera ovih informacija, a s obzirom na malu ili gotovo nikakvu vremensku razliku između obradne i merne operacije moguće povratnom spregom delovati na program procesa obrade. Međutim i pored ove očigledne prednosti, ovakva rešenja imaju niz nedostataka. Tu se pre svega misli na prisustvo strugotine i rashladnog sredstva u prostoru gde treba vršiti merenje, raspored pojedinih elemenata obradnog sistema oko radnog prostora, prisustvo temperaturskih deformacija i vibracija elemenata obradnog sistema, kao i elastične deformacije pod dejstvom sila rezanja, konfiguraciju obratka, položaj mernih površina na obratku, greške stezanja priprema u steznu glavu, na radni sto ili stezni pribor. Često i sam postupak obrade otežava ili čak onemogućava izvodjenje merno-kontrolne operacije bez prekida procesa rezanja i odmicanja alata od obratka.

Iz tog razloga se na obradnoj mašini najčešće kontrolišu samo neke odgovorne dimenzije, ali ne u cilju konačne ocene kvaliteta izradka, nego zbog praćenja toka tehnološkog procesa i sprovođenja odgovarajućih korekcija.

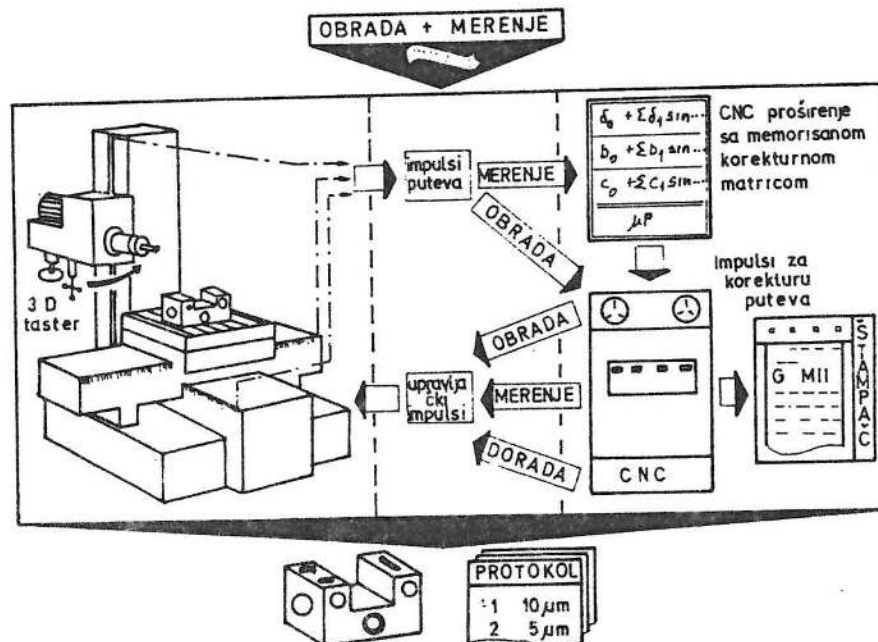
2.3. Merno-kontrolne operacije nakon procesa obrade

Merenje izradaka je moguće izvesti kako na samim obradnim sistemima, tako i van njih. U prvom slučaju, nakon završetka obrade i odmicanja alata zaustavlja se obrtanje radnog predmeta, merni pipak se uvodi u radni prostor mašine, vrši merenje dimenzionih karakteristika obratka, na-

kon čega se merni pipak odvodi iz radnog prostora mašine. Na osnovu rezultata merenja vrši se klasifikacija obradjenih delova (dorada, dobri delovi, škart delovi).

Pri merenju obradjenih delova van radnog prostora mašine u velikoj meri se eliminišu napred navedeni nepovoljni uticaji, ali je fazna razlika izmedju procesa obrade i merenja velika. Ako se radi o merenju izradaka nakon poslednje operacije mašinske obrade ova koncepcija odgovara završnoj kontroli konvencionalne proizvodnje.

Ovde treba napomenuti da bi potpuno pouzdano merenje geometrijskih karakteristika obradaka u toku obradnog procesa ili nakon obrade na samoj obradnoj mašini bilo moguće tek nakon egzaktnog odredjivanja svih poremećajnih uticaja i grešaka koje nastaju pri obradi. U tu svrhu je potrebno formirati i memorisati matricu grešaka koja bi obuhvatila sve poznate sistematske greške obradnog sistema, a koje bi upravljački sistem pri realizaciji signala puteva za pojedine ose uzimao u obzir (slika 2).

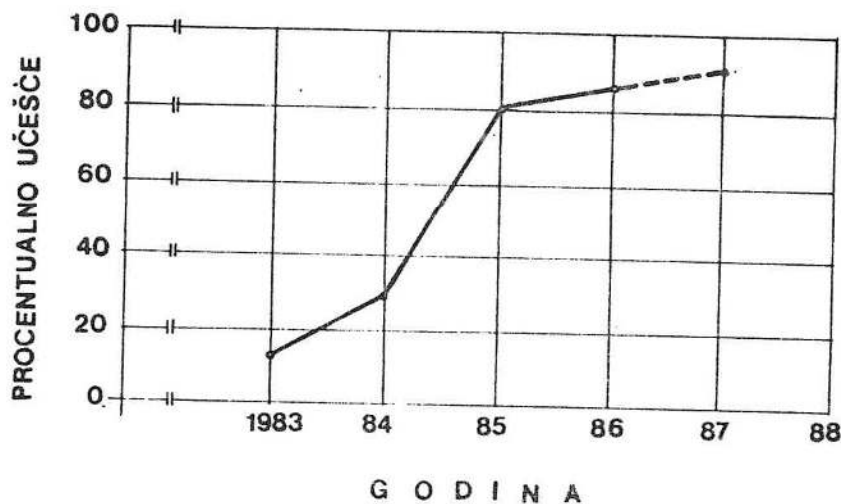


Slika 2. Merenje obradaka na obradnoj mašini uzimanjem u obzir svih poremećajnih faktora [5]

Figure 2. The workpiece measuring at the machine tool with taking into consideration of all disturbancelly factors [5]

Medjutim, bez obzira na tačnost i pouzdanost merno-kontrolnih operacija koje se izvode na obradnom sistemu, one ne mogu obezbediti kompletnu informaciju o postignutom nivou kvaliteta obratka. To se naročito odnosi na radne predmete složenije konfiguracije, pošto bi kompleksno merenje takvih obradaka zahtevalo veliko vremensko angažovanje obradnog sistema. Za vreme izvodjenja takvih merno-kontrolnih operacija obradni sistem bi bio van svoje osnovne funkcije, što bi uticalo na značajno smanjenje proizvodnosti i povećavanje troškova obrade.

No, i pored navedenih nedostataka, raste udeo proizvedenih alatnih mašina koje imaju mogućnost merenja u radnom prostoru (slika 3).



Slika 3. Udeo proizvedenih alatnih mašina u SR Nemačkoj sa mernim pipkom kao dodatnim uređajem [1]

Figure 3. Share of manufactured machine tools with the measuring probe in Germany [1]

Zbog toga se kontrola izradjenih delova prvenstveno odvija van obradnog sistema u okviru posebne merno-kontrolne stanice, što odgovara završnoj kontroli.

Iz napred izloženog se vidi da se dimenziona merenja delova u FTS prema mestu izvodjenja mogu u principu podeliti na:

- merenja u radnom prostoru mašine alatke i
- merenja van radnog prostora.

Merenja van radnog prostora se pak, mogu izvesti na:

- mernim uredjajima neposredno uz obradnu mašinu, pri čemu su merni uredjaji prilagodjeni konkretnim proizvodnim zadacima,
- centralnoj mernoj stanici ugradjenoj u tok materijala izmedju obradnih stanica ili postavljenoj na kraju obradnog procesa.

3.0. MERENJE NA MERNIM UREDJAJIMA NEPOSREDNO UZ OBRADNU MAŠINU

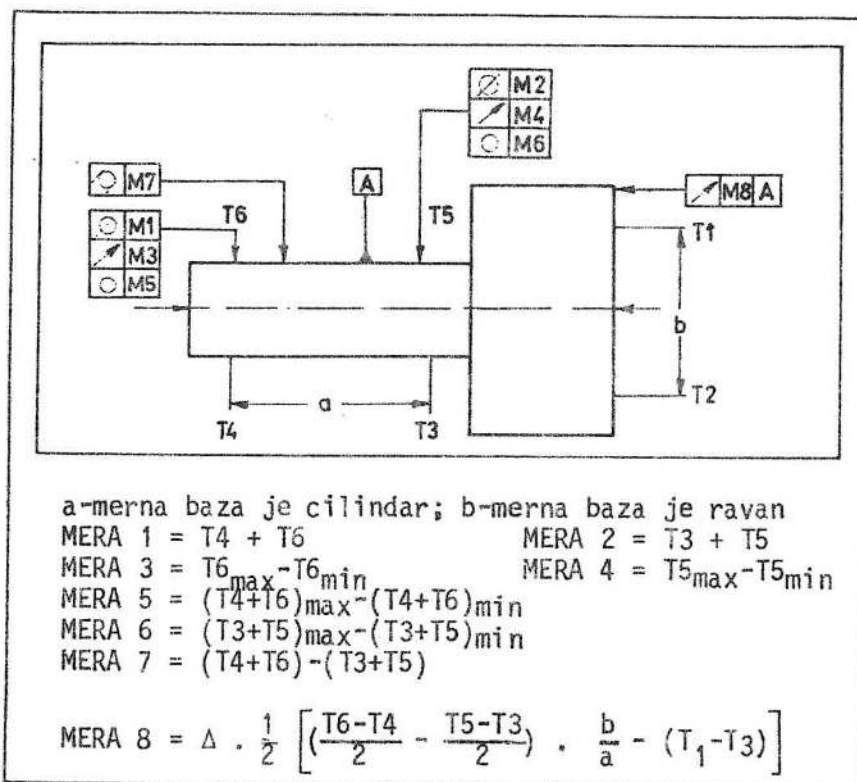
Osnovna komponenta ovakvih merno-kontrolnih sistema je merna mašina ili merni uredjaj prilagodjen prihvatanju i merenju odredjenog spektra delova. Obično se izmedju obradne i merne mašine ili mernog uredjaja postavlja manipulator ili robot, kao i odgovarajući računarski sistem za upravljanje, obradu informacija i komuniciranje sa računarom višeg nivoa.

Merno-kontrolni uredjaji postavljeni neposredno uz obradnu mašinu i prilagodjeni prihvatanju i merenju odredjenog spektra delova spadaju u najvišu klasu savremene merne tehnike poznatu pod nazivom *informacioni merni sistemi*. Razlog tome leži u činjenici da su u ovim sistemima integrisane pored mernih i računarske jedinice i što je njihovo funkcionisanje gotovo potpuno automatizovano. Ovi savremeni merni sistemi mogu da obavljaju sledeće osnovne operacije [7]:

- potpuno automatizovano merenje i kontrolu svih geometrijskih karakteristika kvaliteta uz njihovo prikazivanje na nekoj od indikatorskih jedinica,
- istovremeno "on-line" merenje više karakteristika kvaliteta,
- matematičku obradu rezultata merenja bez obzira na količinu i karakter mernih rezultata i to u realnom vremenu,
- memorisanje rezultata merenja,

- prenos mernih signala na odgovarajuće jedinice
- prikazivanje mernih rezultata
- upravljanje i kontrolu procesom, odnosno, generisanje signala kojima se preko izvršnih i radnih organa upravlja obradnim procesom.

Zahvaljujući pogodnoj kombinaciji mernih pipaka na mernom uredjaju, moguće je na istom izradku istovremeno mernje više različitih karakteristika kvaliteta, odnosno, moguće je odgovarajućim rasporedom mernih pipaka istovremeno izvoditi nekoliko različitih standardnih mernih zadataka. Kao primer ovome, na slici 4. je prikazana kombinacija nekoliko mernih zadataka na istom radnom predmetu.



Slika 4. Istovremeno merenje i izračunavanje osam mernih karakteristika na istom vratilu

Figure 4. Simultaneously measurement and calculation of eight measuring characteristics at the same shaft

Osnovna mana ovih višepozicionih merno-kontrolnih uređaja je mala ili gotovo nikakva fleksibilnost, pošto su prilagodjeni konkretnom mernom predmetu. Međutim, moguće je njihovo brzo i jednostavno prepodešavanje, naročito ako

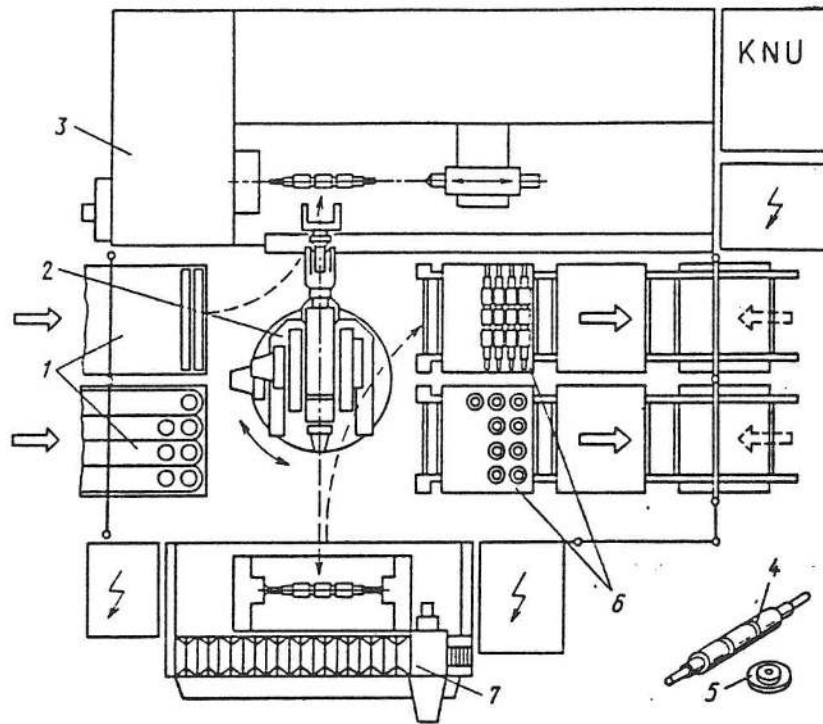
se sklapaju od standardnih elemenata kao montažno-demontažni pribori. Rešenja se traže i u formiranju magacina mernih pribora za određeni spektar delova, što podrazumeva da upravljački sistem FTS raspolaže datotekom mernih programa za isti spektar radnih delova.

Merne mašine postavljene neposredno uz obradne mašine u odnosu na višepozicione merne uređjaje prilagodjene konkretnom mernom predmetu predstavljaju značajno poboljšanje, obzirom da ne zahtevaju prepodešavanje pri promeni mernog predmeta. Prednosti mernih mašina se ogledaju i u:

- kratkim mernim ciklusima zbog velikih brzina kretanja mernih pipaka,
- jednostavnom, "user-friendly" opsluživanju,
- mogućnosti primene u proizvodnim uslovima bez smanjenja tačnosti merenja,
- mogućnošću merenja ne samo dimenzija, nego i oblika i položaja mernog predmeta,
- ne zahtevaju prethodno izradjen merni etalon zbog kalibracije mernih pipaka.

Slika 5. prikazuje fleksibilni tehnološki modul (FTM) za obradu rotacionih delova u obliku vratila (4) i diska (5) sa pridodatim mernom mašinom (7). Pored KNU struga (3) postavljen je stojeći manipulator (2) i transportni sistem sa paletama za pripreme (1) i izradke (6). Nakon završetka obrade jedne strane obratka (kod delova u obliku diska), manipulator obrće obradak u poziciju za obradu druge strane. Nakon kompletne obrade, manipulator iznosi izradak iz radnog prostora struga i prenosi ga na mernu mašinu gde se izvodi kompletno merenje njegovih geometrijskih karakteristika. U skladu sa rezultatima merenja, manipulator dobre delove odlaže na paletu (6), a škart delove odbacuje.

U gornjem primeru merna mašina služi samo za razvrstavanje i odvajanje loših od dobrih delova. Medjutim, sa stanovišta primene mernih mašina u FTS, jedino ispravno i op-



Slika 5. Merna mašina postavljena neposredno uz obradnu mašinu |4|

Figure 5. Measuring machine immediately near the machine tool |4|

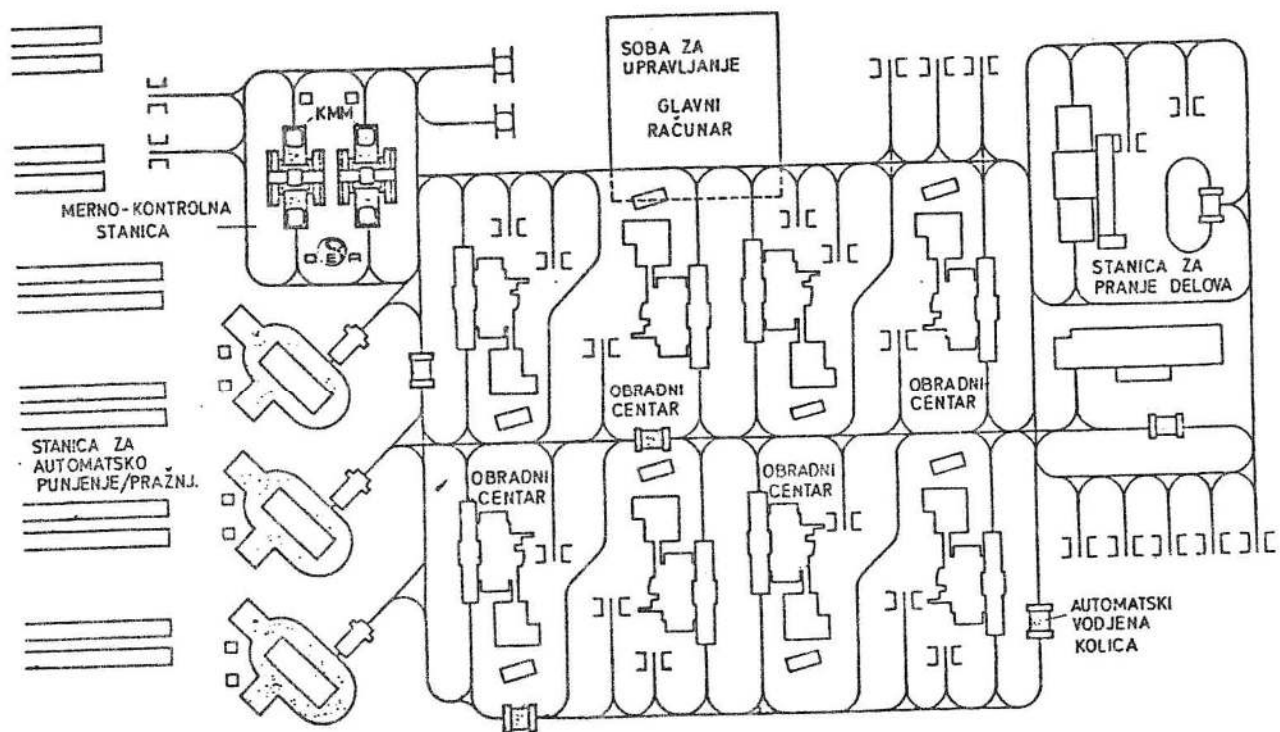
ravdano rešenje je primena takvih mernih mašina koje omogućavaju povratnu spregu ka obradnoj mašini.

4.0. MERENJE NA CENTRALNOJ MERNOJ STANICI

Koncepcija merenja obradjenih delova na centralnoj mernoj stanici (slika 6), kao osnovnu komponentu za izvođenje metroloških zadataka ima numerički upravljane koordinatnu mernu mašinu (NU KMM).

Dokora se precizna medjuoperacijska i završna kontrola sprovodila van granica FTS u specijalnim prostorijama sa odredjenim mikroklimatskim uslovima. Medjutim, težnja da se kontrola kvaliteta obradjenih delova što više približi proizvodnji uslovia je primenu mernih mašina u pogonskim uslovima, što je zahtevalo razvoj takvih konstrukcija koje moraju da tolerišu teške uslove okoline (temperatura, vlažnost,

vibracije, ulje, prljavština, hladjenje). Pored toga, mer-
na mašina u FTS mora imati mogućnost manipulacije paletizo-
vanim delovima, odnosno, mogućnost automatizovanog unošenja
i iznošenja paleta sa mernim predmetima iz mernog prostora,
kao i sposobnost prepoznavanja i reagovanja na kodove pale-
ta. Ovi kodovi obično omogućavaju identifikaciju mernog
predmeta, a time i sam tok merenja. Pri ovome, merna mašina
treba da komunicira sa transportnim sistemom koji prenosi
palette sa delovima (roboti, automatski vodjena kolica).



Slika 6. Centralna merno-kontrolna stanica u FTS

Figure 6. Central measuring station in FMS

Obično su merne mašine snabdevene linearnim ili rota-
cionim paletnim magacinom iz kojeg palette po slučajnom ras-
poredu dolaze u merni prostor merne mašine. Nakon identifi-
kacije mernog predmeta preko koda palette, učitava se merni
program iz lokalne disk memorije merne mašine ili iz memo-
rije centralnog (host) računara FTS. Merni program obuhva-
ta i formiranje konfiguracije merne glave i eventualno au-
tomatizovanu izmenu mernih glava u toku procesa merenja,

te merna mašina mora raspolagati i magacinom mernih glava. Nakon izvršenog merenja paleta sa mernim predmetom se vraća u magacin, odakle je preuzima nosač paleta i transportuje na odgovarajuće mesto (na dalju obradu, doradu, magacin gotovih delova).

Dakle, merne mašine integrisane u FTS treba da imaju mogućnost merenja dimenzionih karakteristika slučajno izabranih delova bilo kakve konfiguracije i složenosti, uz obezbedjenje povratne veze u realnom vremenu ka obradnom procesu. Osnovni zahtevi koji se postavljaju pred njih su:

- mogućnost merenja delova bilo kakve konfiguracije i složenosti uz minimum dodatnog pribora,
- mogućnost merenja pojedinačnih ili malog broja slučajno izabranih delova u pogonskim uslovima,
- rad bez nadzora ili uz relativno nekvalifikovanu radnu snagu,
- obezbedjenje komunikacije sa centralnim računarom FTS uz automatizovano rukovanje materijalom,
- tolerisanje teških uslova okoline,
- mogućnost povezivanja sa CAD/CAM sistemima,
- mogućnost pristupa širokoj bazi podataka.

5.0. ZAKLJUČAK

U radu je na osnovu analize domaćih i stranih literaturnih informacija iz oblasti FTS, kao i analize realnih FTS koji egzistiraju u industrijski razvijenim zemljama sveta, prođiskutovana koncepcija merno-kontrolnih sistema u ovim savremenim proizvodnim sistemima, sa težištem na merno-kontrolnim sistemima predvidjenim za merenje i kontrolu geometrijskih karakteristika (dimenzije, oblik, položaj, kvalitet površine) predmeta koji se obradjuju. Ova analiza će poslužiti kao podloga za postavljanje osnovnih koncepcija FTS za obradu rotacionih delova, kao i za razvoj procesora merno-kontrolnih zahvata u kompleksnom sistemu za automatizovano programiranje FTS za obradu rotaci-

onih delova, koji su u poslednje vreme postali jednom od glavnih preokupacija istraživača Katedre za obradu metala skidanjem strugotine Instituta za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu.

6.0. LITERATURA

- [1] Eversheim W., König W., Weck M., Pfeifer T.: Producti-onstechnik auf dem Weg zu integrieren Systemen, VDI Verlag, Düsseldorf, 1987.
- [2] Gatalo R., Rekecki J., Stankov J., Banjac D., Todić, V., Hodolič J., Borojev Lj., Rodić M., Zeljković M., Vasić, S., Novaković D., Navalušić S.: Fleksibilni proizvodni sistemi za obradu rotacionih delova (podsticajni projekat), zadatak 6.1.: Postavljanje osnovnih koncepcija FPS-a (za obradu rotacionih delova), elaborat preliminarnih rezultata istraživanja, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, 1989.
- [3] Hodolič J., Borojev Lj., Rekecki J., Gatalo R., Zeljković M.: Fleksibilni tehnološki sistemi za obradu rotacionih izradaka, knjiga III - Manipulacioni i mernokontrolni sistemi, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, 1989.
- [4] Ivanov A.A.: Gibkie proizvodstvenie sistemi v priborostroenii, Mašinstroenie, Moskva, 1988.
- [5] Pfeifer, Göluke, Stöferle i dr.: Rationale Qualitätssicherung durch Prüfplanung und objektivierte Meßmethoden, Industrie anzeiger, 70, 1978.
- [6] Rekecki J., Gatalo R., Borojev Lj., Hodolič J., Zeljković M., Konjović Z., Rajšli Z., Kovačević S., Vasić S., šeškar I: Razvojna istraživanja mašina alatki sa numeričkim upravljanjem i mašina alatki povećane i visoke tačnosti, istraživački projekat koji je finansirala SIZNR Vojvodine, Istraživanje podloga za razvoj numerički upravljanih (NU) fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka, elaborat grupa tema, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, 1986.
- [7] Stanić J.: Tehnološki merni sistemi, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [8] Todorović J.: Fleksibilni proizvodni sistemi - organizacija FMS, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [9] Vasić S.: Prilog razvoju procesora merno-kontrolnih zahvata u kompleksnom sistemu za automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih delova, magistarski rad (u izradi), Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, 1991.