

S. Vasić, J. Stankov^{x)}

SISTEMATIZACIJA METODA PROGRAMIRANJA NUMERIČKI
UPRAVLJANIH MERNIH MAŠINA^{xx)}

SYSTEMATIZATION OF METHODS FOR NC MEASURING
MACHINES PROGRAMMING

S u m m a r y

Coordinate Measuring Machines (CMM) represent the complex metrological systems with partial or full programming and automatization measuring processes, processing and indication of measuring results. Regardless of the fact that they appeared not earlier than sixty, their rapidly development and intensive diffusion on industry practice are evident. In this relatively short time, the several generations and many types of these contemporary metrological systems have been developed - from manual controlling CMM to DNC CMM. Intensive development of CMM is brought about by knowledge that usage of CMM makes possible solving almost all the measuring tasks appear in practice. Their usage allows measuring of dimensions, forms, location, and surface quality.

Because of the effective realization of all measuring tasks different procedures of CMM programming are developed. There are different approaches, terminologies and classification in connection with programming methods. The paper represents an attempt of classification, on the base of all-inclusive analyse of literature information, programming methods for numerical controlled CMM. The short review of basic characteristics of these methods is presented as well.

x) Siniša Vasić, dipl.ing., asistent, dr Jelena Stankov, red.prof., Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića Valtera 2

xx) Rad je proizašao iz istraživačkog projekta TEHNOLOGIJE I SREDSTVA RADA ZA OBRADU MAŠINSKIH MATERIJALA REZANJEM čiju realizaciju finansira SIZNR Vojvodine

Rad je saopšten na IFIP T.C.5/W.G.5.3. Working Conference on "Computer Integrated Quality System in CIM Systems", Beograd, 1989.

R e z i m e

Koordinatne merne mašine (KMM) predstavljaju kompleksne metrološke sisteme sa delimičnim ili potpuno programiranim i automatizovanim mernim procesima, obradom i indikacijom mernih rezultata. Bez obzira na činjenicu da su se pojavile tek krajem šezdesetih godina, evidentan je njihov nagli razvoj i intenzivna difuzija u industrijsku praksu. U relativno kratkom vremenskom periodu razvijeno je nekoliko generacija i mnogo tipova ovih savremenih metroloških sistema - od ručno upravljanih KMM do DNC KMM. Intenzivan razvoj KMM je uslovljen saznanjem da njihova primena omogućuje rešavanje skoro svih mernih zadataka koji se pojavljuju u praksi. Njihova upotreba dozvoljava merenje dimenzija, oblika, položaja i kvaliteta površine.

Radi što efikasnije realizacije svih mernih zadataka, razvijeni su razni postupci programiranja KMM. Pri tome se zapaža da su prisutni razni prilazi, terminologije i različite podele vezane za postupke programiranja. Rad predstavlja pokušaj da se na osnovu sveobuhvatne analize literaturnih informacija da predlog osnovne podele postupaka programiranja numerički upravljanih KMM sa prikazom najosnovnijih karakteristika pojedinih metoda.

1.0. U V O D

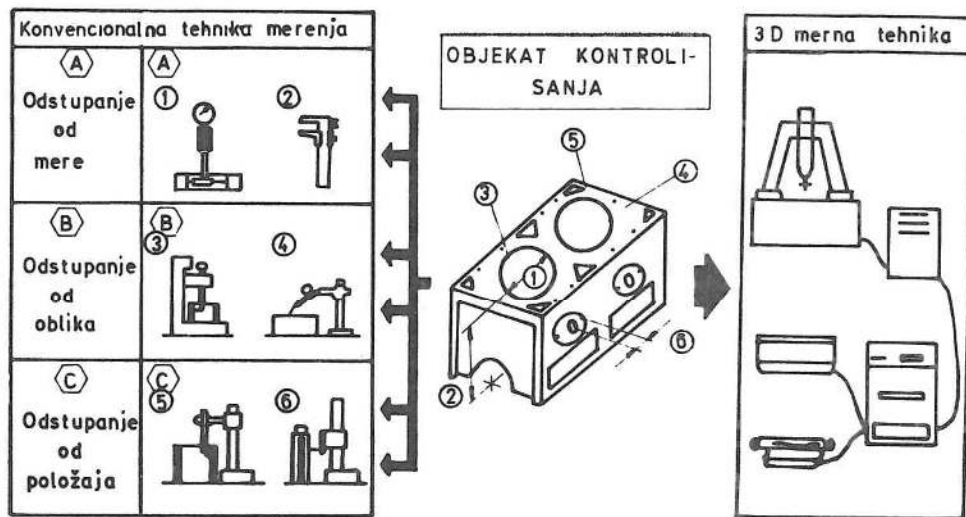
Iako su se koordinatne merne mašine (KMM) pojavile tek krajem šezdesetih godina, evidentan je njihov nagli razvoj i intenzivna difuzija u industrijsku praksu. O intenzivnom razvoju ovih savremenih metroloških sistema govori i podatak da je u ovom relativno kratkom vremenskom periodu razvijeno nekoliko generacija ovih mašina (od ručno upravljanih KMM do KMM sa DNC upravljanjem).

Ovakav razvoj KMM uslovljen je saznanjem da njihova primena omogućava rešavanje skoro svih mernih zadataka koji se pojavljuju u praksi. Kod konvencionalne tehnike merenja za svaki merni zadatak postoji jedan ili više specifičnih mernih uređaja (slika 1), a koji će od njih u praksi biti primenjen najčešće određuje sam kontrolor na osnovu svog radnog iskustva.

Primenom KMM moguće je meriti:

- oblike (linija, površina, kontura, profila, preseka
 - u ravni i u prostoru, pravost, ravnost, kružnost, cilindričnost),

- dimenzije (dužine, visine, širine, dubine, prečnike, rastojanja, koordinate u pravouglim, polarnim, cilindričnim i sfernim koordinatnim sistemima, uglove, nagibe u ravni i u prostoru),
- položaje (paralelnost, upravnost, ugao nagiba, lokacija, koncentričnost, koaksijalnost, simetričnost),
- kvalitet površina (valovitost i mikrogeometriju).



Slika 1. Uporedjivanje konvencionalne i koordinatne merne tehnike (1)

Figure 1. Conventional and coordinate measuring techniques comparison (1)

Radi što efikasnije realizacije ovih metroloških zadataka pristupilo se intenzivnom razvoju postupaka programiranja numerički upravljanih mernih mašina (NUMM). Pri tome se zapaža da su prisutni različiti prilazi, terminologija i različite podele vezane za postupke programiranja NUMM. Rad predstavlja pokušaj da se na osnovu sveobuhvatne analize literaturnih informacija dâ predlog osnovne podele postupaka programiranja NUMM sa prikazom najosnovnijih karakteristika pojedinih metoda.

2.0. PLANIRANJE MERENJA NA KMM

Prema savremenim shvatanjima, o kvalitetu nekog proizvoda treba voditi računa još pri ulasku materijala u fabriku, a kvalitet gotovog proizvoda pratiti u toku eksploatacije. Svi poslovi i zadaci vezani za ispitivanje i održavanje kvaliteta trebalo bi da budu obuhvaćeni jednom planskom aktivnošću koja se uglavnom izvodi za vreme proizvodnje. Pri ovome treba uzeti u obzir i aktivnosti vezane za programiranje NUMM. Planiranje merenja se mora izvesti pre samog postupka programiranja, a podrazumeva utvrđivanje karakteristika koje treba meriti na odredjenom radnom predmetu i mogućnosti njihovog merenja na odabranoj NUMM. Pri ovome je potrebno utvrditi:

- da li je predviđena NUMM dovoljno tačna,
- ekonomsku opravdanost merenja na izabranoj NUMM sa postojećim komponentama i programskom podrškom,
- da li su potrebni dodatni uređjaji (npr. obrtni sto),
- da li je merna oblast izabrane NUMM dovoljno velika pri čemu treba imati u vidu da ona može biti smanjena uređjajem za stezanje, obrtnim stolom, magacinom mernih glava.

Ako NUMM ispunjava napred navedene zahteve može se pristupiti detaljnom planiranju samog merenja, pri čemu treba definisati:

- uređjaj za stezanje radnog predmeta,
- odgovarajuću kombinaciju mernih pipaka,
- detaljan plan toka merenja.

Pri definisanju uređjaja za stezanje i kombinacije mernih pipaka neophodno je ispitati da li je na kritičnim mestima moguće opipavanje radnog predmeta bez kolizije. Plan odvijanja toka merenja sadrži elemente koji treba da se opipaju, kojim redosledom, sve funkcije neophodne za izvodjenje samog merenja, za odredjivanje koordinatnih sistema, zadanje nominalnih mera i njihovih tolerancija, kao i za proračun i dokumentovanje mernih rezultata.

Tek kada su završene sve ove aktivnosti može se pristupiti samom programiranju.

3.0. PROGRAMIRANJE NUMM

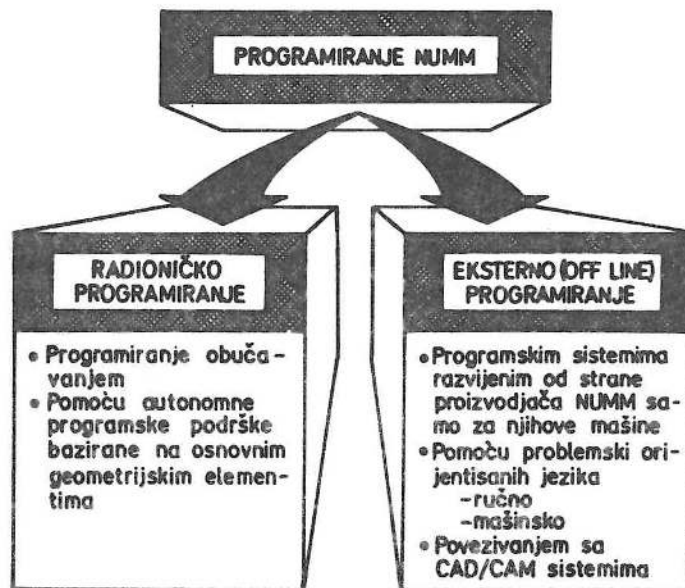
Dok planiranje merenja zahteva bogato iskustvo u mernoj tehnici i tehnologiji, dotle je programiranje koje sledi nakon dobre pripreme rutinski zadatak. Pri programiranju se korak po korak, u saglasnosti sa planom odvijanja merenja, zadaju svi potrebni parametri koji se memorišu na nosiocu informacija. Pri završetku ovako formiranog izvornog programa sledi probni rad na NUMM, pri čemu se otkrivaju i koriguju eventualne greške.

Programiranje NUMM može se u principu izvesti, zavisno od udela ručnih aktivnosti na mernoj mašini i zavisno od toga da li se i u kolikoj meri primenjuje računar, kao:

- ručno programiranje
- automatizovano programiranje.

Prema mestu izvodjenja, programiranje može biti (slika 2):

- radioničko (pogonsko)
- eksterno (off-line).



Slika 2. Postupci programiranja NUMM

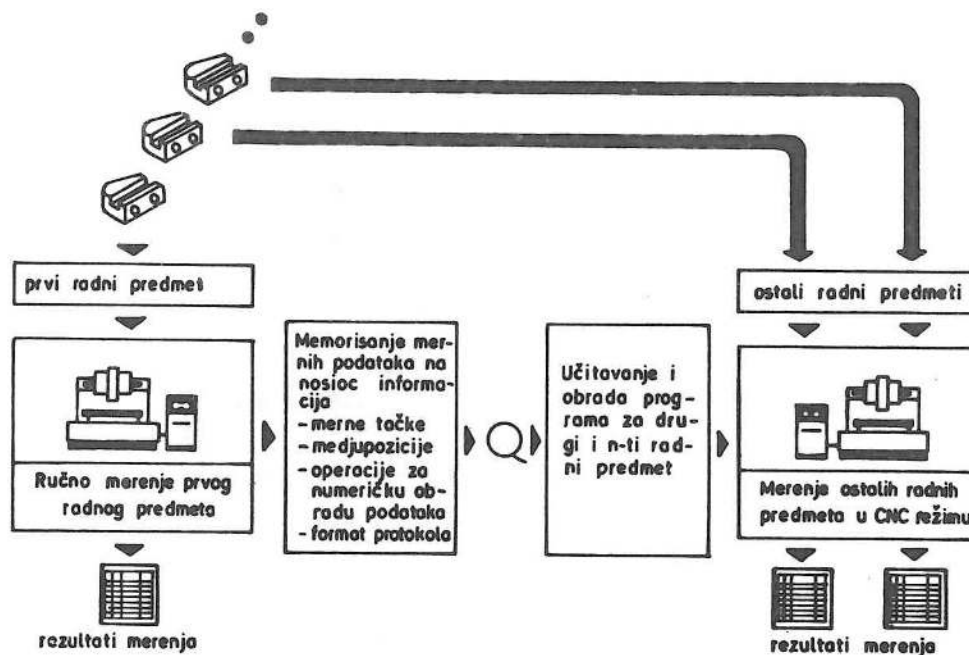
Figure 2. Procedures of NCM programming

3.1. Radioničko (pogonsko) programiranje

Radioničko programiranje obuhvata:

- programiranje obučavanjem, koje se izvodi na samoj KMM,
- programiranje pomoću autonomne programske podrške koje se obavlja na računaru neposredno uz KMM pomoću "menü" funkcija razvijenih na bazi osnovnih geometrijskih elemenata i njihovih međusobnih odnosa.

Pri programiranju obučavanjem (slika 3) vrši se ručno merenje prvog izradjenog radnog predmeta neke serije, pri čemu se sva kretanja koja operater pomoću joystick-a izvodi na mašini, sve naredbe koje unosi u računar merne mašine memorišu na nosiocu informacija i memoriji računara. Ovi podaci se kod drugog i svakog sledećeg radnog predmeta koji treba kontrolisati, sekvencijalno učitavaju i upravljaju automatskim mernim tokom.



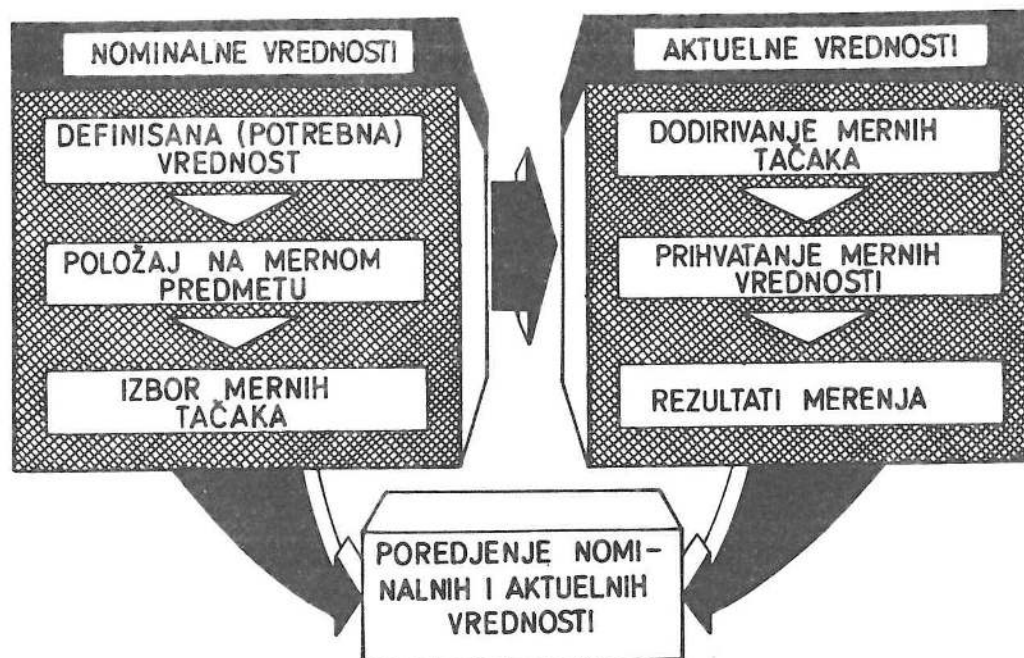
Slika 3. Programiranje obučavanjem NUM (25)

Figure 3. Teach-in programming of NCM (25)

Prednosti ovog postupka programiranja ogledaju se u jednostavnom programiranju, mogućnosti izmene programa u kratkom vremenskom periodu i poboljšanoj ekonomičnosti KMM. Medjutim, programiranje obučavanjem poseduje značajne nedostatke [6, 10, 11, 22]:

- zauzetost skupe mašine u toku samog postupka programiranja,
- mogućnost programiranja tek nakon izrade prvog radnog predmeta ili etalona,
- premeštanje aktivnosti i zadataka vezanih za programiranje iz pripreme proizvodnje u samu proizvodnju,
- zahtev za visokokvalifikovanim poslužiocem merne mašine,
- subjektivni uticaj operatera na izbor mernih tačaka,
- memorisanje se izvodi u internom kodu, te je tako onemogućen prenos programa sa jedne KMM na drugu, ukoliko nisu kompatibilne.

Proizvodjači NUMM su nezavisno jedni od drugih razvijali autonomnu programsku podršku pri čemu su merni programi zasnovani na osnovnim geometrijskim elementima (tačka, prava, ravan, krug, elipsa, cilindar, konus, sfera). Korisnik na upravljačkoj jedinici ima na raspolaganju određeni "menü" funkcija kojima se definišu osnovni geometrijski elementi, njihovi medjusobni odnosi, oblik i položaj, kako u ravni, tako i u prostoru. Pri programiranju se najpre na osnovu crteža radnog predmeta generiše potrebna vrednost merne veličine, nakon čega se pomoću funkcionalne tastature i ekranskog dijaloga poziva odgovarajuća merna rutina za konkretan metrološki zadatak. Izabrana rutina dozvoljava izvodjenje merenja, čiji se rezultati upoređuju sa zadatim vrednostima na osnovu čega se određuje stepen podudarnosti izradjenog i idealnog radnog predmeta (slika 4).



Slika 4. Programiranje NUMM pomoću autonomne program-ske podrške

Figure 4. NMM programming with the help of an autonomous software support








Kao ilustracija ovome u tabeli 1 [17] su date neke od mogućnosti software-skog paketa Kompanije "M & M Precision System". Pozivanje željene rutine vrši se pritiskom na odgovarajuću tipku funkcijske tastature i ona se odmah pojavljuje na ekranu računara, zajedno sa instrukcijama kako treba dodirnuti merne tačke.

Pored toga, pojedini proizvođači KMM razvijali su program-ske pakete za specifične metrološke zadatke (za kontrolu lopatica turbina, zupčanika, bregastih osovina, itd.). Tako je recimo proizvođač KMM - "OPTON" za svoje mašine razvio bogatu programsku biblioteku koja sadrži:

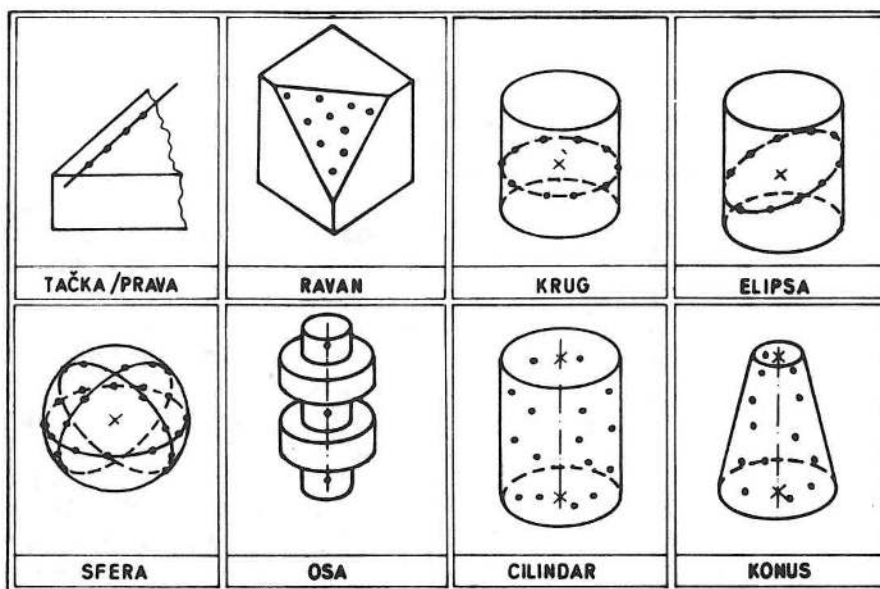
- univerzalni standardni program UMESS^{x)}, čiji su osnovni geometrijski elementi prikazani na slici 5,

x) UMESS - Universal Measuring and Evaluation System

Tabela 1.

Funkcijska tipka	Geometrijski element	MERNE KARAKTERISTIKE
	RAVAN	Merenje položaja ravni u prostoru, dodirivanjem ravni u 3 do 99 tačaka sa automatskom kompenzacijom prečnika vrha mernog pipka
	KRUG	Merenje položaja centra i prečnika kruga sa automatskom kompenzacijom prečnika vrha mernog pipka, automatskim definisanjem unutrašnjeg (otvor) ili spoljašnjeg (osovina) dodirivanja, i odredjivanjem ravni (XY,...) u kojoj leži mereni krug
	CILINDAR	Merenje položaja i orijentacije osa cilindra njegovim dodirivanjem u najmanje 6 tačaka
	TACKA	Merenje položaja tačke u prostoru sa odredjivanjem x,y i z koordinata
	LINIJA	Merenje položaja i orijentacije prave dodirivanjem 2 do 99 tačaka, u ravni (2D) ili u prostoru (3D)
	SFERA	Merenje prečnika i položaja centra sfere dodirivanjem u 4 do 99 tačaka
	KONUS	Merenje položaja vrha, ugla konusa i orijentacije osa konusa dodirivanjem u najmanje 9 tačaka

- program za merenje ravanskih i prostornih krivih KUM,
- program za merenje bregastih osovina NUM,
- program za merenje cilindričnih zupčanika GON,
- program za merenje konusnih zupčanika RAM,
- programski paket za statističku obradu SAM,
- topografski program TOP,
- program za merenje lopatica turbina IPM



Slika 5. Osnovni UMESS geometrijski elementi (23)
Figure 5. UMESS basic geometric elements (23)

3.2. Eksterno (off-line) programiranje

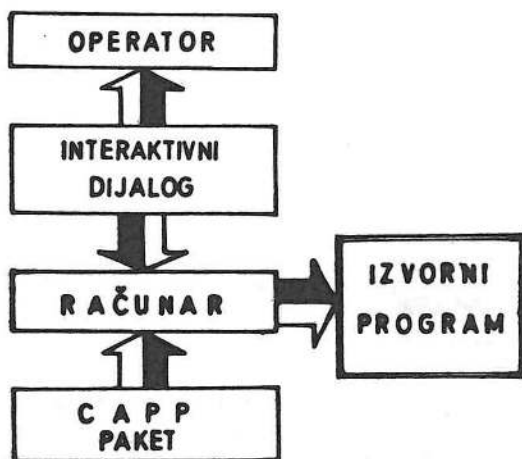
Eksploatacija KMM je pokazala da je autonomnost programske podrške ograničavajući faktor u efikasnoj primeni NUMM. Iz tog razloga se pristupilo razvoju programskih sistema za eksterno programiranje NUMM. Eksterno programiranje podrazumeva programiranje koje se izvodi u tehnološkom birou ili nekom drugom dislociranom prostoru uz računarsku podršku. Na računaru odvojenom od mašine vrši se generisanje upravljačkih programa koji omogućuju potpuno automatizovanu kontrolu radnog predmeta, tj. automatsko kretanje merne glave, dodirivanje radnog predmeta, obradu podataka i protokolisanje rezultata merenja.

Najpre su proizvođači KMM nezavisno jedni od drugih razvijali sisteme za eksterno programiranje primenljive samo za svoje mašine i određeni tip računara. Tako je firma TESA razvila univerzalni merni program AVAIL^{x)} koji se zahvaljujući UNIX operativnom sistemu i programskom jeziku PASCAL može instalirati na računare HP310, HP320, MICRO-VAX II i MICRO-VAX 2000. Za merenje geometrijskih karakteristika, korisnik na raspolaganju ima osnovne geometrijske elemente i njihove odnose, a moguće je i poredjenje izmerenih karakteristika sa nominalnim vrednostima i njihovim toleran-

x) AVAIL - Advanced Validation Interface Language

cijama koje se mogu saopštiti korisniku na ekranu i/ili štampaču. Kod sistema za eksterno programiranje JOHANSSON SOFTWARE 301 firme C.E. JOHANSSON primenjuje se programski jezik BASIC. Uz pomoć elemenata ovog jezika kao i na osnovu razvijenih kodnih brojeva za određene rutine sastavlja se izvorni program. Merne tačke koje treba opipati u toku merenja unose se pojedinačno navodjenjem x-, y- i z- koordinata ili primenom programiranja obučavanjem. Slično je sa programskim sistemom MESCAL firme LEITZ. Od firme OPTON razvijen je programski sistem MFTPROG ^{x)} za eksterno programiranje CNC KMM na bazi osnovnih UMESS geometrijskih elemenata, instaliran na personalnom računaru HP-300. Ovaj programski sistem omogućuje elementarno generisanje toka mernog procesa, definisanje konfiguracije merne glave, povezivanje koordinatnih sistema, testiranje korektnosti izrade mernog programa, naknadno unošenje nazivnih mera i druge opcije. Firma DEA je razvila software za automatizovano generisanje izvornog programa

CAPP^{xx)} (slika 6), pri čemu je operater vodjen od strane računara kroz raznovrsne programske korake i jednostavno unosi tražene podatke preko tastature računara. Ovaj software je napisan u programskom jeziku FORTRAN i instaliran na računarima DEC MICRO PDP 11/23.



Slika 6. Generisanje izvornog programa pomoću CAPP programskog paketa

Figure 6. Part program generation with the help of CAPP programming package

Vidi se da proizvođači KMM nisu bili jedinstveni pri razvoju programske podrške - prisutni su razni program-

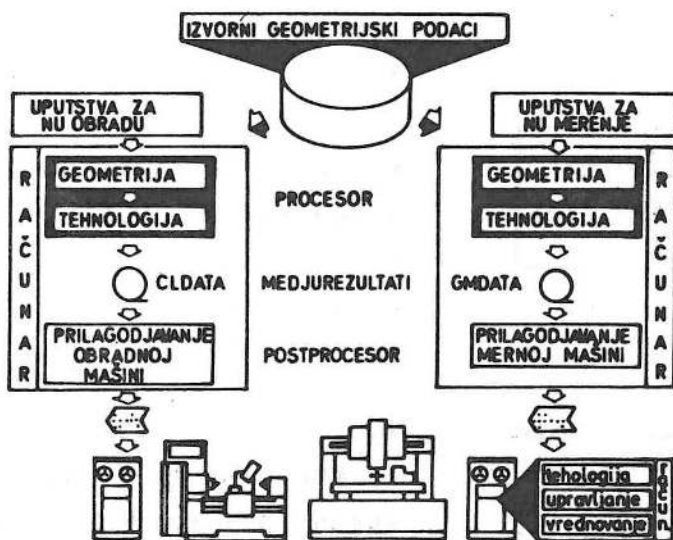
x) METFROG - Maschinenferne Teilprogrammierung

XX) CAPP - Computer Aided Part Programming

ski jezici, razni operativni sistemi, razne upravljačke jedinice, te se programi razvijeni za iste merne zadatke ne mogu koristiti na KMM različitih proizvođača. Iz tog razloga se pristupilo razvoju **programsko orijentisanih jezika** za ručno i mašinsko programiranje NUMM koji ne bi zavisili kako od tipa same merne mašine, tako ni od primenjene upravljačke jedinice. Do sada je razvijeno nekoliko ovakvih programskih sistema:

- NCMES¹⁾ u SR Nemačkoj
- MAUS²⁾ u DR Nemačkoj
- SCAI³⁾ i HELP⁴⁾ u Italiji
- MIKRON u SSSR-u.

Pri njihovom razvoju pošlo se od analogije sa sistemima za odvojeno programiranje numerički upravljanih mašina alatki (slika 7). Kod odvojenog programiranja NUMM vrši se formalizovanje izvornih informacija o geometriji mernog predmeta i potrebnim mernim zadacima. Ovo formalizovanje ulaznih podataka vrši se u skladu sa pravilima komponovanja informacija o mernom predmetu koja sadrži svaki problemski orijentisani jezik. Propuštanjem ulaznih podataka kroz ge-

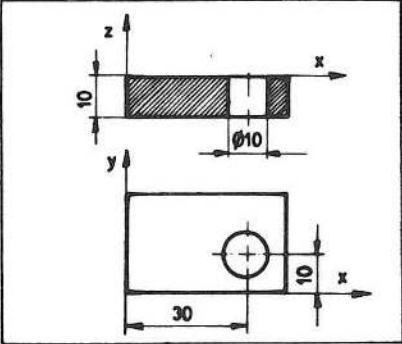


Slika 7. Sličnost programiranja NUMA i NUMM (1)

Figure 7. Similarity of NC machine tools and NCM programming (1)

- 1) NCMES - Numerical Controlled Measuring and Evaluation System
- 2) MAUS - Mess Auswertungs Sprache
- 3) SCAI - Software Controllo Automatico Inspector
- 4) HELP - High Level Expansible Language for Programming

ometrijski i tehnološki procesor dobija se datoteka GMDATA¹⁾, na osnovu koje se pomoću postprocesora za konkretnu mernu mašinu dobijaju podaci koji se smeštaju na perforiranu traku ili disketu, kao nosioce upravljačkih informacija za automatizovani proces merenja.



EXAPT		NCMES
PARTNO/PRIMER 1	Naziv izvornog programa	PARTNO/PRIMER 1
MACHIN/PP1	Ime mašine i postprocesora	MACHIN/UMM 500
TRANS/100,200,50	Merni pipak Kalibrisanje mernog pipka	TOOLNO/500,6 CALIB/AUTO,1
	Ispravljanje	ALIGN/SPACE,PL1 ALIGN/XYPLAN,G1 ALIGN/ORIGIN,NPKT
P1=POINT/30,10,0	Definicija tacke	KR1=CIRCLE/30,10,5
PART/MATERL,6	Definicija kruga	
BOHR=DRILL/DIAMET,10, DEPTH,16	Oznaka materijala	
CLDIST/1	Definicija obrade	
WORK/BOHR	Sigurnosno rastojanje	SASURF/1
CUT/P1	Poziv za obradu	BOHR=MEASEL/KR1,CIR,3, \$,ZCONST,-6,IN
FINI	Poziv mesta obrade	
	Kraj izvornog programa	FINI

Slika 8. Sličnost pojedinih EXAPT i NCMES naredbi (31)

Figure 8. Similarity of EXAPT and NCMES commands (31)

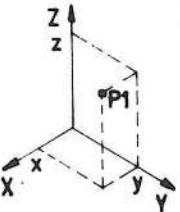
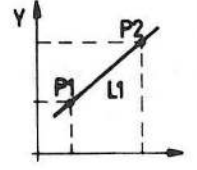
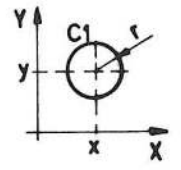
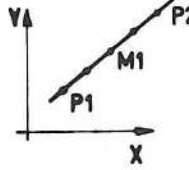
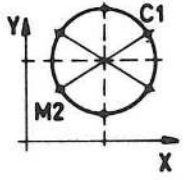
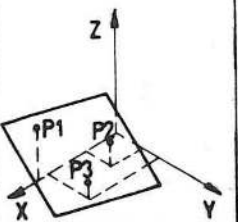
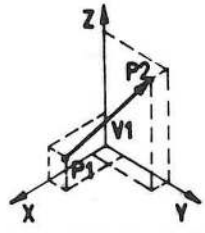
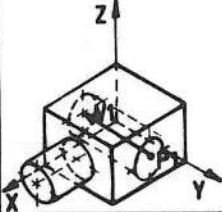
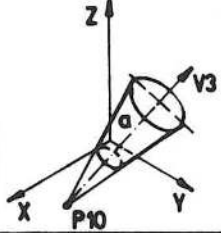
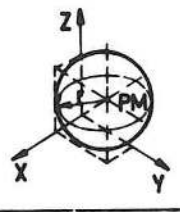
1) GMDATA - General Measuring Data

NCMESS je najpoznatiji i najrazvijeniji jezik za odvojeno programiranje NUMM koji je razvijen na bazi sintakse i semantike APT i EXAPT jezika za programiranje NUMA. Kao ilustracija ove konstatacije na slici 8 je prikazana sličnost EXAPT i NCMES jezika koja omogućuje da se mnoge naredbe primene u istoj ili sličnoj formi.

Strukturu NCMES jezika sačinjavaju znaci, slova, brojevi, reči, oznake i instrukcije pomoću kojih se formira kompleksni jezik za merenje i kontrolu radnih predmeta. Merni zadaci se formulišu u izvornom programu, pri čemu postoje:

- opšte insturkcije,
- geometrijske definicije,
- naredbe kretanja,
- tehnološke definicije i naredbe,
- instrukcije za vrednovanje rezultata merenja,
- instrukcije za štampanje mernih rezultata.

Primeri opisa osnovnih geometrijskih elemenata u NCMES jeziku dati su na slici 9.

TAČKA	PRAVA	KRUG	M2=PATERN/ARC,C1,30,CLW	
				
P1=POINT/x,y,z	L1=LINE/P1,P2	C1=CIRCLE/x,y,r	M1=PATERN/LINEAR,P1,P2,5	
RAVAN	VEKTOR	CILINDAR	KONUS	SFERA
				
E1=PLANE/P1,P2,P3	V1=VECTOR/P1,P2	Z1=CYLNDR/P1,V1,r	K1=CONE/P10,V3,a	KU3=SPHERE/PM,r

Slika 9. Primeri osnovnih geometrijskih definicija NCMESS jezika (2)

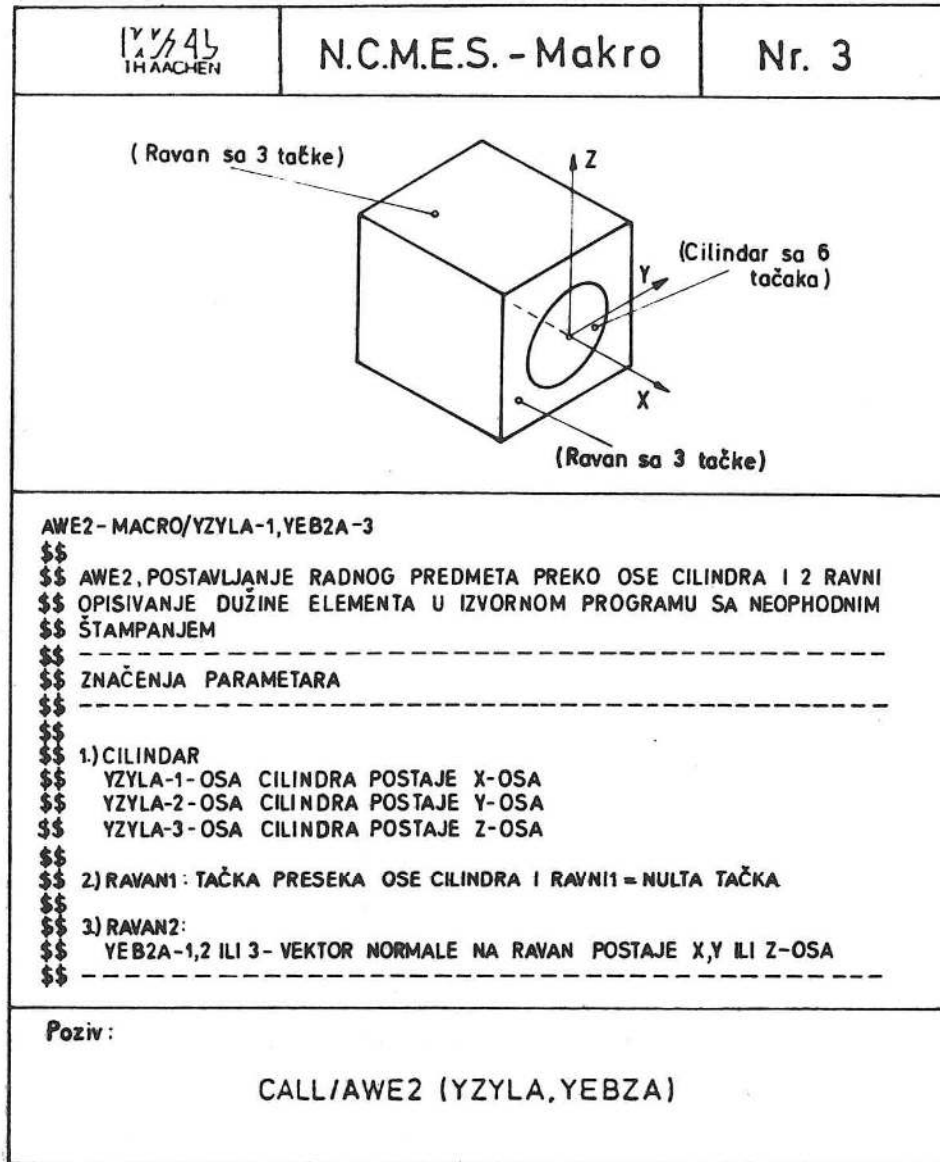
Figure 9. Examples of NCMM basic geometrical definitions (2)

Programski sistem NCMES sastoji se od tri glavna dela [32]:

- geometrijskog procesora, u kom se na osnovu ulaznih podataka vrši geometrijska obrada,
- tehnološkog procesora, čija je uloga obrada merno-tehničkih i tehnoloških uputstava,
- postprocesora, koji ima zadatak prilagodjavanja upravljačkih informacija konkretnoj mernoj mašini.

U cilju minimiziranja grešaka i vremena trajanja programiranja razvijena je posebna tehnika programiranja - makro tehnika. Makro se definiše kao zaokruženi blok funkcija za obradu programskih zadataka koji se ponavljaju u istom ili sličnom obliku, koji se može aktivirati iz izvornog programa i koji ima mogućnost prilagodjavanja specifičnim zadacima uz pomoć aktuelnih parametara [25]. Dakle, primena ove tehnike ima smisla u slučajevima kada se pojavljuju identični ili slični merni zadaci. Makroi sadrže odgovarajuća programska rešenja u neutralnom obliku, tako da se pomoću specifičnih parametara omogućuje njihovo prilagodjavanje specifičnim mernim zadacima. Na taj način se ovako razradjena i definisana programska rešenja mogu proizvoljan broj puta pozvati i to uz malo angažovanje pri unosu podataka. Na slici 10. je prikazan primer makroa za automatsko centriranje mernog predmeta preko ose cilindra i dve ravni. Program je fleksibilan, tako da se može upotrebiti za proizvoljan položaj mernog predmeta (horizontalan, vertikaln, itd.). Za merenje svih potrebnih elemenata, makro priprema sve neophodne instrukcije i u zavisnosti od unesenih parametara definiše odgovarajuće instrukcije za centriranje. Na sličan način korisnik može da sastavi i druge makroe što olakšava i ubrzava programiranje i smanjuje verovatnoću pojave greške.

Radi povećanja produktivnosti procesa programiranja, pristupilo se povezivanju sistema za automatizovano programiranje (SAP) sa CAD/CAD sistemima. Sa stanovišta koordinatne merne tehnike ovo omogućuje:



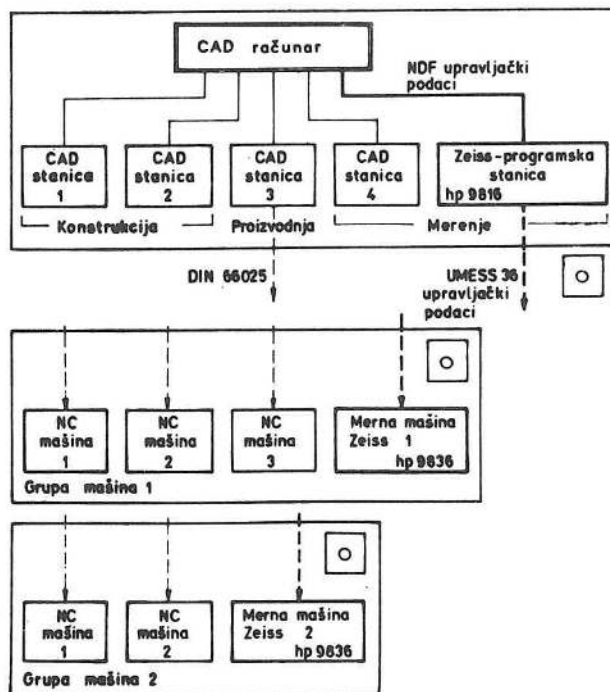
Slika 10. Primer makroa za centriranje mernog predmeta (25)

Figure 10. Macro for workpiece alignment (25)

- povećanje ekonomičnosti pri izradi mernih programa na osnovu raspoloživih podataka,
- smanjenje učestalosti grešaka,
- brzu reakciju na konstruktivne izmene zahvaljujući centralnoj bazi podataka,
- stvaranje uslova za potpuno automatizovano generisanje mernih programa,

- poboljšanje grafičke kontrole kolizije simuliranjem toka merenja na modelu pomoću grafičke jedinice.

Na slici 11. je prikazana koncepcija AUTOMEASURE sistema za povezivanje KMM i CAD sistema razvijena od strane firme CARL ZEISS i COMPUTERVISION. Jedno grafičko radno mesto u CAD sistemu izdvojeno je za kreiranje mernih programa pomoću posebno razvijenog grafičkog interaktivnog programskog sistema. Generisani merni programi se on-line prenose u glavni računar i to u formatu nezavisnom od proizvođača KMM. Tu se svi podaci adaptiraju u format razumljiv mernoj mašini i u tom formatu se memorišu na disketi. Disketa se postavlja u računar konkretne KMM, nakon čega je moguće izvesti željeno merenje. Isti put u suprotnom smeru se koristi za prenos mernih rezultata nakon izvršenog merenja.



Slika 11. Koncepcija AUTOMEASURE sistema (3)

Figure 11. Conception of the AUTOMEASURE system (3)

Ovakav pristup formiranju izvornih programa ima velike prednosti, obzirom da se konstrukcija, proizvodnja i kontrola oslanjaju na zajedničku bazu podataka koja je uvek na jednom pouzdanom nivou. Pored toga, obimna grafička podrška CAD sistema omogućava planiranje samog postupka merenja, počev od odredjivanja načina stezanja mernog predmeta, izbora mernih glava i mernih pipaka, kao i generisanje putanje merenja. Na ploteru je moguće dobiti skice koje se koriste u pripremi merne mašine. Na kraju je moguće sprovesti grafički tok merenja iz različitih uglova posmatranja pri čemu se može vizuelno kontrolisati da li dolazi do kolizije između mernih pipaka, mernog predmeta i steznog uredjaja. Nakon ove provere upravljački podaci se smeštaju u fajl neutralnih podataka (NDF) iz koga se mogu on-line predati stanicima za programiranje. Ovde se izvodi post-procesiranje na odgovarajući format. Na ovoj programskoj stanici mogu biti pridodane sve upravljačke informacije koje još nisu formirane u CAD sistemu. Rezultat svega je kompletan CNC izvorni program za konkretan merni predmet.

4.0. ZAKLJUČAK

Razvoj numerički upravljanih mernih mašina doprineo je automatizaciji metroloških zadataka, kako u konvencionalnim proizvodnim sistemima, tako i u sistemima zasnovanim na fleksibilnoj automatizaciji, zahvaljujući pre svega njihovoj velikoj tačnosti i pouzdanosti. U isto vreme sa razvojem hardware-skih komponenata, razvijane su i metode i procedure za programiranje ovih savremenih metroloških sistema. U poslednje vreme razvijena su rešenja koja omogućavaju povezivanje sistema za automatizovano programiranje NU KMM sa CAD/CAM sistemima, naročito u fleksibilnim proizvodnim sistemima (FMS). Merenje i kontrola u FMS su integralni deo CAD/CAM sistema, pošto pored osnovne funkcije treba da obezbede i povratnu spregu i to u realnom vremenu sa odgovarajućim podsistemima FMS (obradnim, transportnim, manipulacionim, upravljačkim).

Razvijeni su razni programski jezici i sistemi za generisanje izvornih programa. Najpoznatiji i najrazvijeniji je svakako NCMES sistem za off-line programiranje koji ne zavisi od tipa KMM i primenjenog računara. Modularna struktura ovog sistema sa odvojenom obradom geometrijskih i tehnoloških informacija dozvoljava njegovo povezivanje sa raznim CAD/CAM sistemima, kao što su: CADEX (EXAPT), CADAM (IBM/CADAM Inc.), MEDUSA (COMPUTERVISION), UNIGRAPHICS (McDonnell Douglas) itd. Budući razvoj programiranja i programske podrške baziraće se na rešenjima sa zajedničkom bazom podataka i na povezivanju CAD/CAM sistema sa sistemima za automatizovano programiranje NU KMM.

5.0. LITERATURA

- [1] Bambach, Pfeifer, Göluke, Stöferle, Rationale Qualitätssicherung durch Prüfplanung und objektivierte Meßmethoden, Industrie anzeiger, 70, (1978).
- [2] Berner A., Geometrieverarbeitung und Beschreibung geometrischer Elemente in NCMES, Industrie Anzeiger, 99, (1977), Nr 33.
- [3] Breyer K.H., Programmierung von koordinatenmeßgeräten und ihre Einbindung in CAD - Systeme, QZ, 31, (1986), 10.
- [4] Breyer K.H., Behrendt K., Linch, T., Datenverbund zwischen CAD/CAM - Anlagen und Koordinatenmeßgeräten, Zwf, 80, (1985), 11
- [5] Burgindas S.J., Ramanauskas V.A., Tonkunas R.J., Sistema programirovanija dlja avtomatizirovannih koordinatnih izmeriteljnih mašin, Stanki i instrument, 3, (1981)
- [6] Eversheim, W., Auge J., Automatic Generation of Part Programs for CNC-Coordinate Measuring Machines Linked to CAD/CAM Systems, Annals of the CIRP, Vol. 35/1/1986.
- [7] Hahn H., Flexibles Programmiersystem für CNC-Koordinaten-Meßgeräte, wt-Z ind. Fertigung, 72, (1982)
- [8] Hodolič J., Milošević, V., Gatalo R., CAD/CAM integracije sa osvrtom na integracije u SAPOR programskom sistemu za automatizovano projektovanje, znanstveno-stručni skup "Skup o konstruisanju", Zagreb, 1988.

- [9] Hodolič J., Integralni prilaz postprocesiranju upravljajčkih informacija u sistemu za automatsko programiranje NU fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka, doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1988.
- [10] Kovačević R., Stanić, J., Računari - NC-CNC-DNC, Naučna knjiga, Beograd, 1987.
- [11] Kovačević R., NC i CNC koordinatne mjerne mašine, Mašinstvo, 36, (1987), 7-8
- [12] Majstorović, V., Stanić J., Numerički upravljane merne mašine i fleksibilna automatizacija, "Nove tehnologije u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala", Herceg Novi, 1983.
- [13] Majstorović, V., Stanić J., Software-ska podrška za NU merne mašine, III naučno-stručni skup MMA'83, Novi Sad, 1983.
- [14] Majstorović, V., Stanić, J., Fleksibilna automatizacija u proizvodnoj metrologiji, seminar "Inovacije i automatizacija u proizvodnoj mernoj tehnici", Maribor, 1984.
- [15] N.N., Dimensional and Geometrical Coordinate Measuring, ISO/TC3/WG10-N20, part 3- Cod of practice, 1987.
- [16] N.N., MFT-PROG, Maschinenferne Teilprogrammierung für Koordinatenmeßgeräte, Opton, Software-Information, Oberkochen, 1985.
- [17] N.N., CMM Retrofit System, M&M Precision System, An Acme-Clivlend Company, Ohio, 1987.
- [18] N.N., EXAPT Programming System NCMES for TESA-3D DCC Measuring Machine with AVAIL Software, TESA, Renens.
- [19] N.N., HELP, point-to-point Measuring System with PDP 11/04 Minicomputer, DEA, Moncalieri, 1980.
- [20] N.N., SCAI 20, Software Library for Machining Centers and Measuring Centers, Olivetti Controllo Numerico, Bernardo d'Ivrea
- [21] Pfau D., Koerth D., Probleme der maschinellen Programmierung numerisch gesteuerter Messmaschinen, Techn. Zbl. prakt. Metallbearbeitung, 69, (1975), 2
- [22] Pfeifer T., Programming of Measuring Machines, Technology of Machine Tools, 5, 1980.
- [23] Pressel H.G., Georgi B., Software Package for the Control, Evaluation and Programming of Measuring Runs on Multi - Coordinate Measuring Machines Requirements and Solutions, 5th International Conference on Automated Inspection and Product Control, 12th IPA Meeting, Stuttgart, 1980.

- [24] Ranky P., The Design and Operation on FMS, North-Holland Publishing Company, 1983.
- [25] Schöling H., Optimierung der Off-line-Programmierung von CNC-Mehrkoordinaten-Meßgeräten, disertacija, RWTH, Aachen, 1982.
- [26] Stanić J., Majstorović, V., Analiza jezika za programiranje NU mernih mašina, Peto jugoslovensko savetovanje korisnika i proizvođača numerički upravljanih mašina alatki i robota, Beograd, 1982.
- [27] Stanić J., Majstorović V., Analiza software-a za NU merne mašine, stručni seminar "Koordinatna merilna tehnika v proizvodnji", Maribor, 1982.
- [28] Stanić, J., Majstorović, V., Stanišić, S., CNC programiranje NUMM pomoću software-a MFT 300, 8. jugoslovenski simpozijum "CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala", Cavtat, 1989.
- [29] Vasić S., Analiza programske podrške za koordinatne merne mašine, seminarski rad, FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1988.
- [30] Vasić S., Gatalo R., Hodolić J., Povezivanje sistema za automatizovano programiranje NC mernih mašina sa CAD sistemima, 8. jugoslovenski simpozijum "CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala", Cavtat, 1989.
- [31] Wollersheim H.R., Problemorientierte Programmiersprache NCMES mit anwendungsbeispielen, VDI-Berichte, Nr 378, 1980.
- [32] Wollersheim H.R., Programmierung von Koordinatenmessgeräten mit NCMES, EXAPT e.V. Technische Tagung, 1985.
- [33] Zink J., Linking CAD/CAM Systems to CMM'S, Test, Measurement and Inspection for Quality Control Conference/Exhibition, Ohio, 1987.