

UDK 621.317.39:531.71

Metoda za identifikacijo površine pri merjenju dolžin

ERNEST ZEBEC

1. UVOD

Pri sodobnih obdelovalnih sistemih se čedalje bolj pojavlja težnja, da bi obdelovance merili že med samim procesom obdelave (*In-Process-Measuring*). Tak merilni sistem bi bil vključen v obdelovalni sistem in bi omogočal avtomatično korigiranje parametrov glede na dejansko izmerjeno vrednost obdelovanca. V praksi so sicer že znani merilni sistemi za merjenje obdelovancev z merilnim dosegom pod mikrometrom. Takih merilnih sistemov ni mogoče preprosto dograjevati k obdelovalnemu sistemu, da bi na ta način omogočili merjenje med procesom obdelave. Merilni sistem za merjenje med procesom obdelave mora imeti posebno konstrukcijo, mora biti robusten, primerno natančen ter s takim izhodom izmerjenih vrednosti, da je mogoče te podatke voditi v računalnik oziroma elektronski del obdelovalnega sistema.

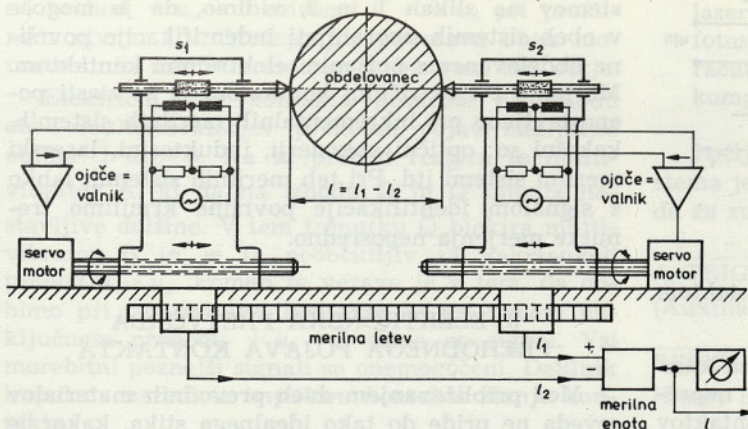
Znanih je že več bolj ali manj zapletenih merilnih sistemov za merjenje dolžin, kotov, sil itd. med procesom obdelave [1]. Ti merilni sistemi uporabljajo transducerje z dotikom ali brez po načelu induktivnosti, kapacitivnosti, optoelektronike, laserskega žarka itd.

Vsaka od navedenih metod ima svoje prednosti in pomanjkljivosti pri praktični uporabi. Kapacitivno merjenje razdalj je na primer zelo natančno, merilno območje pa je razmeroma majhno.

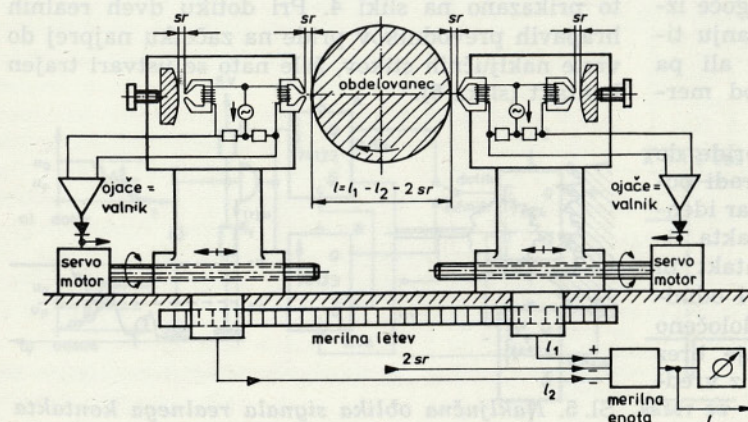
Merilni sistemi za merjenje med procesom obdelave so praviloma prav posebnih konstrukcij, da so lahko prilagojeni obdelovancu ali stroju. Prav tako iz tehničnih razlogov je merilni sistem razdeljen na dva funkcijska dela. Prvi del (primarni senzor) rabi zato, da se z njim dotaknemo ali samo približamo obdelovancu — identificiramo površino obdelovanca, medtem ko je drugi del (spremenljivi pretvorni element) namenjen za samo merjenje.

Slika 1 prikazuje merilni sistem za avtomatično merjenje obdelovanca. Prikazani merilni sistem za absolutno merjenje z dotikom obsega dva merilna dela. Induktivna transducerja na obeh straneh obdelovanca se s pomočjo servosistema tako dolgo približujeta obdelovancu, da prideta vsak prej ali slej v svojo ničelno lego.

Izhodni napetosti ustreznih servosistemov sta tedaj nič in pomikanje je končano. Šele sedaj se opravi merjenje obdelovanca na drugem (spodnjem) merilnem delu.



Sl. 1. Merilni sistem z dotikom za avtomatično merjenje obdelovanca



Sl. 2. Merilni sistem brez dotika za avtomatično merjenje obdelovanca

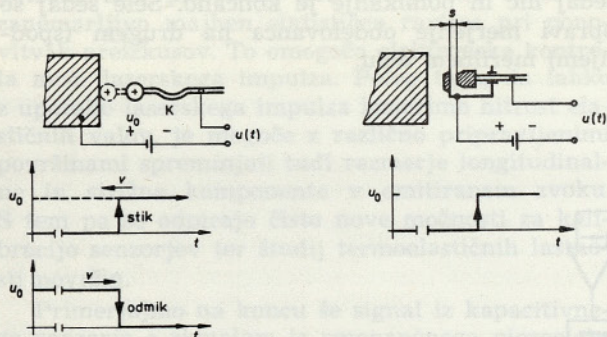
Slika 2 pa prikazuje podobno zgrajen merilni sistem, pri katerem je identifikacija površine obdelovanca izvedena brez dotika, s pomočjo induktivnih transducerjev.

Oba prikazana primera nazorno prikazujeta problematiko avtomatičnega načina merjenja obdelovancev med procesom obdelave. Pri merjenju dolžin pomeni identifikacija površine obdelovanca očitno najbolj zahtevno nalogo, medtem ko so metode za samo merjenje dolžin že dobro razvite in natančne.

V nadaljnjem bo prikazan nov način za identifikacijo površine, ki se utegne zaradi preproste konstrukcije in dokaj velike natančnosti uvesti v merilnih sistemih za avtomatično merjenje med procesom obdelave kakor tudi v mnogih drugih primerih.

2. METODA IDENTIFIKACIJE Z ELEKTRIČNIM KONTAKTOM

Površino obdelovanca je mogoče identificirati najpreprosteje na zelo znan način v obliki električnega kontakta. Slika 3 prikazuje to osnovno načelo za prevodne in neprevodne materiale.



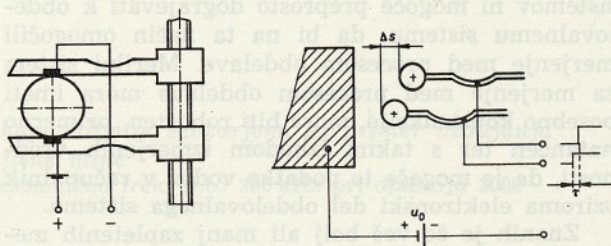
Sl. 3. Načelo identifikacije z električnim kontaktom

Pri prevodnih obdelovancih izkoristimo za identifikacijo stik obdelovanca s tipalom, pri neprevodnih obdelovancih pa medsebojni stik kontaktov tipala. Za identifikacijo obdelovanca je mogoče izkoristiti signal u_0 , ki nastane ob približevanju tipala merjeni površini (prehod $0 \rightarrow +u_0$) ali pa signal, ki nastane pri odmikanju tipala od merjene površine (prehod $+u_0 \rightarrow 0$).

Pri meritvah na oba opisana načina pride do različnih rezultatov, razlika pa nastane zaradi porušitve hrapavosti na merjeni površini. Kadar identificiramo površino s približevanjem kontakta tipala, se najprej vzpostavi električni kontakt in šele nato pride do porušitve materiala. Pri odmikanju tipala pa je to prehod iz stanja z določeno silo porušene porušitve materiala v stanje brez dotika. Stopnjo porušitve je mogoče izbrati z vrednostjo konstante K vzmeti tipala.

Ker je nosilec tipala izveden v obliki vzmeti, omogočimo s tem dodaten gib tipala tudi še potem, ko je bil električni kontakt že vzpostavljen. Na ta način je mogoče izkoristiti signal tipala ne samo za meritev v trenutku $t = s/v$, temveč še za ustavitve pogona za podajanje tipala. Ta dodatna pot za zaviranje sme biti seveda tolikšna, da ne pride do plastične deformacije nosilca tipala oziroma da sila tipala glede na površino ne preseže normalnih vrednosti.

Tipalo električnega kontakta je mogoče konstruirati v obliki merilnih klešč, v obliki dvojnega kontakta (slika 4) in še v mnogo drugih oblikah, odvisno od uporabe.

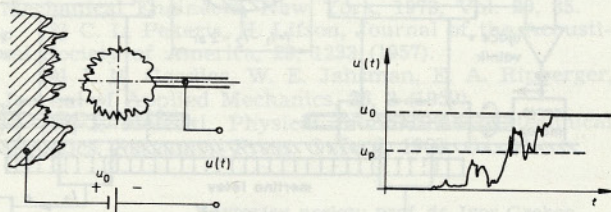


Sl. 4. Možne oblike tipal

Če si ponovno ogledamo primera merilnih sistemov na slikah 1 in 2, vidimo, da je mogoče v obeh sistemih uporabljati identifikacijo površine obdelovanca z opisanim električnim kontaktom. Merjenje z električnim kontaktom je še zlasti poenostavljeno pri inkrementalnih merilnih sistemih, kakršni so: optični enkoderji, induktosini, laserski merilni sistemi itd. Pri teh merilnih sistemih lahko s signalom identifikacije površine krmilimo trenutke merjenja neposredno.

3. ELEKTRONSKA PRETVORBA PREHODNEGA POJAVA KONTAKTA

Med približevanjem dveh prevodnih materialov seveda ne pride do tako idealnega stika, kakor je to prikazano na sliki 4. Pri dotiku dveh realnih hrapavih prevodnikov pride na začetku najprej do vrste naključnih stikov, šele nato se ustvari trajen kontakt (slika 5).



Sl. 5. Naključna oblika signala realnega kontakta

Prvi dotiki hrapavih delov so tako šibki, da pride do vrste zaporednih oblokov, ko kovina preprosto zgori. Zaradi naključne oblike obeh (ali ene) površin, je ta del napetosti $u(t)$ tudi naključen. Šele, ko se prevodna materiala dovolj tesno približata, je vzpostavljen trajen električni kontakt. Prav ta prvi, naključni del električnega kontakta je največja ovira pri praktični uporabi električnega kontakta za identifikacijo površine pri merjenju dolžin.

Naključnost prehodnega pojava električnega kontakta niti ni problematična, saj pomeni le realno sliko naključne oblike površine materiala, katerega želimo identificirati. Problem je le v tem, da tak električni signal, kakršen je prikazan na sliki 5, ni uporaben za identifikacijo. Z ustreznim elektronskim vezjem je mogoče naključni signal $u(t)$ preoblikovati, ne da bi pri tem izgubili bistveno sestavino informacije signala $u(t)$.

Slika 6 kaže poenostavljeno vezavo, ki pretvarja naključni signal kontakta v oblikovno natančno definiran signal. Vezje je sestavljeno iz napetostnega delilnika $R_1 - R_2$, dveh monostabilnih multivibratorjev in delilnika 1 : 2. Krivulja a prikazuje, kakšno obliko napetosti $u(t)$ dobimo pri vzpostavitvi kontakta, krivulja b pa, kakšna je oblika $u(t)$ pri prekinutvi kontakta.

Monostabilna multivibratorja s spremenljivo časovno nastavitvijo dolžine impulza sta občutljiva na prehod $+u_0 \rightarrow 0$ oziroma $0 \rightarrow +u_0$ pri prožilnem nivoju 2 V. Medsebojna povezava obeh monostabilnih multivibratorjev je bistveni del vezja.

Električni stik kontakta povzroči na vhodu obeh multivibratorjev prehodni pojav naključne oblike $+u_0 \rightarrow 0$. Na ta prehod reagira le multivibrator A, ki da na izhodu Q in $\bar{Q}$ impulz nastavljive dolžine. V tem trenutku $\bar{Q}$ blokira multivibrator B in je ta neobčutljiv za kakršenkoli prehod $0 \rightarrow u_0$. Pomen te vezave je v tem, da dobimo pri vzpostavitvi kontakta že pri prvem naključnem prehodu $+u_0 \rightarrow 0$ samo en signal. Vsi morebitni poznejši signali so onemogočeni. Delilnik impulzov naredi iz impulzov kontakta stanje kontakta.

Podobno je dogajanje pri odmiku iz stanja kontakta. V tem primeru na prehod $0 \rightarrow +u_0$ reagira multivibrator B, blokira multivibrator A. Iz delilnika C dobimo nato singal stanja kontakta. Od načina uporabe je odvisno, v kakšno lego postavimo stikalo za izbiro načina merjenja — z dotikom ali odmikom. Dolžino trajanja impulza nastavimo na vrednost 0,5...5 s, kar zadostuje, da se vzpostavi trajen kontakt ali trajna prekinitev kontakta.

Pravo vezje za pretvorbo prehodnega pojava kontakta je nekoliko bolj obsežno in obsega še dodatne električne komponente, ki omogočajo preprosto povezavo z laserskim merilnim sistemom za merjenje dolžin. Slika 7 prikazuje časovni potek signalov elektronskega vmesnika pri merjenju stopnice z dotikom.

4. OPIS MERILNE NAPRAVE IN REZULTATI MERITEV

Meritve so bile opravljene v laboratoriju za tehnološke meritve in v laboratoriju za tehnično kibernetiko Fakultete za strojništvo v Ljubljani. Merilni sistem je bil sestavljen iz enokoordinatega merilnega stroja z optičnim delilnikom (ločljivost $0,5 \mu\text{m}$) ter iz laserskega merilnega sistema za merjenje dolžin podjetja Hewlett Packard:

laser HP 5501A
fotosprejemnik HP 10780A
računska enota HP 5505A
kompensator HP 5510A

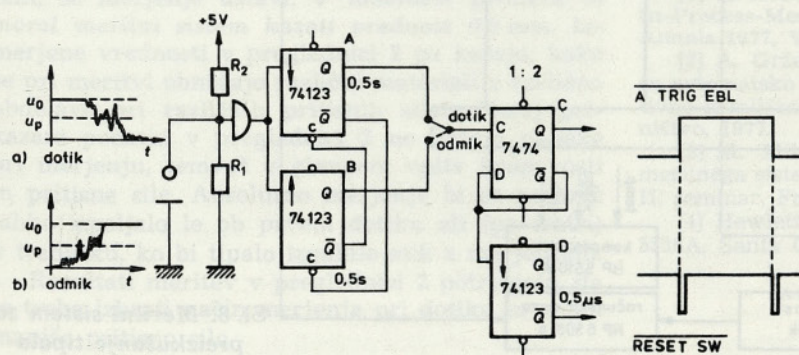
Ločljivost opisanega laserskega merilnega sistema je $0,01 \mu\text{m}$. Laserski merilni sistem ima vhoda za zunanje krmiljenje meritev: (+ 5V TTL).

A TRIG EBL

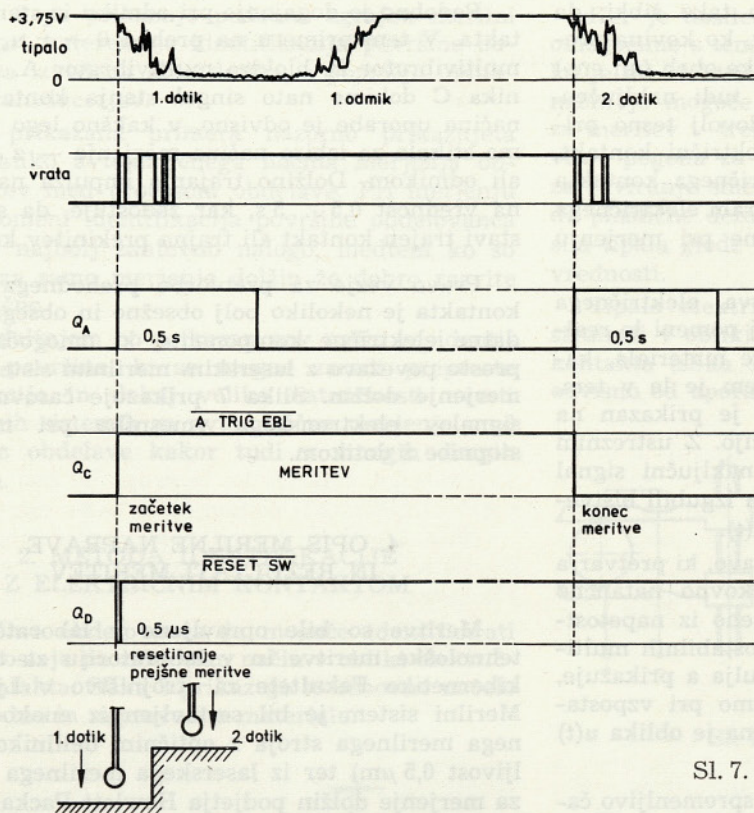
(Auxiliary Trigger Enable) 1 — merjenje
0 — prikaz vrednosti

RESET SW

(Reset Button) 1 — merjenje
0 — resetiranje



Sl. 6. Vezje za pretvorbo naključnega signala



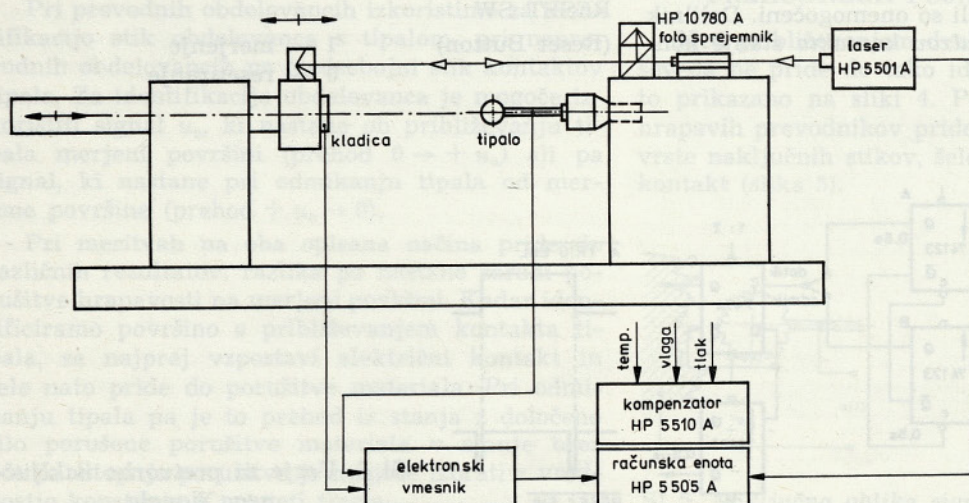
Sl. 7. Časovni potek signalov pri merjenju z dotikom

Vezje za elektronsko pretvorbo prehodnega pojava kontakta daje na izhodu ustrezna signala za smiselno krmiljenje meritev. Slika 8 shematično prikazuje opisan merilni sistem za preizkušanje merjenja z električnim kontaktom. Merila sta neodvisno drug od drugega avtorja A. Grželj [2] in M. Milčinski [3].

Prvi avtor je meril merilne kladice debelin 20, 30, 40, 50, 60, 70 mm, vsako po desetkrat. Zbrani

rezultati vseh meritev so dali končne rezultate, ki jih prikazuje preglednica 1.

Drugi avtor pa je meril ponovljivost meje dotika (0,0000 mm) pri preizkusnih ploščicah iz treh različnih materialov (jeklo, med, aluminij) s tremi različnimi hrapavostmi pri dveh različnih pritisknih silah. Vsak preizkus je sestavljalo 30 meritev. Rezultati so razvidni iz preglednice 2.



Sl. 8. Merilni sistem za preizkušanje tipala

Preglednica 1

Merilna kladica mm	20,000 125 ± 0,000 028	30,000 039 ± 0,000 025	39,999 816 ± 0,000 025	50,000 127 ± 0,000 026	60,000 150 ± 0,000 027	70,000 180 ± 0,000 028
Standardna deviacija mm	0,000 26	0,000 26	0,000 25	0,000 23	0,000 23	0,000 24

Preglednica 2

Preizkusna ploščica	Standardna deviacija (μm) pri pritiski sili	
	0,88 N	8,8 N
$\check{C}_1$ ($R_a = 0,4 \mu\text{m}$)	0,370	0,223
$\check{C}_2$ ($R_a = 6,87 \mu\text{m}$)	0,268	0,664
$\check{C}_3$ ($R_a = 11,8 \mu\text{m}$)	0,256	0,701
M_1 ($R_a = 1,41 \mu\text{m}$)	0,264	0,240
M_2 ($R_a = 4,57 \mu\text{m}$)	0,211	0,169
M_3 ($R_a = 8,67 \mu\text{m}$)	0,520	0,298
Al_1 ($R_a = 0,6 \mu\text{m}$)	0,321	1,100
Al_2 ($R_a = 4,43 \mu\text{m}$)	0,548	0,189
Al_3 ($R_a = 10,6 \mu\text{m}$)	0,306	0,600

Opisana načina merjenja lastnosti tipala sta po kakovosti med seboj popolnoma različna.

Prvi način prikazuje natančnost merjenja absolutne vrednosti dimenzij merilnih kladic. Kakor kažejo izmerjeni rezultati, je mogoče z opisanim tipalom meriti z natančnostjo pod mikrometrom.

Drugi način merjenja daje na prvi pogled manj ugodne rezultate. Metodologija tega načina je namreč takšna, da skuša zajeti vpliv vrste materiala, hrapavosti in pritiskne sile.

Sam način merjenja *ponovljivosti meje dotika* je še posebej ilustrativen!

Ko se tipalo dotakne površine merjenca, se laserski merilni sistem postavi na vrednost nič. Nato se tipalo premika še tako dolgo, da se vzpostavi določena merilna sila (0,88 ali 8,8 N). Pri izbrani merilni sili se pomikanje ustavi, nato pa se tipalo začne pomikati nazaj. Ves čas od dotika naprej meri laserski merilni sistem pomik, ki je omogočen zaradi elastičnosti (vzmeti) tipala. Merilni sistem meri naprej + pomik, nazaj pa — pomik. Ko pri premikanju nazaj tipalo izgubi kontakt z merjenecem, se merjenje ustavi. V *idealnem primeru* bi moral merilni sistem kazati vrednost 0,0 mm. Izmerjene vrednosti v preglednici 2 pa kažejo, kako se pri meritvi obnašajo različni materiali z različno obdelavo pri različnih pritisknih silah. Torej prikazani podatki v preglednici 2 ne kažejo napake pri merjenju, temveč v glavnem vpliv hrapavosti in pritiskne sile. Absolutno merjenje bi se namreč lahko izpeljalo le ob prvem dotiku ali (po izbiri) v trenutku, ko bi tipalo izgubilo stik z merjencem.

Rezultati meritev v preglednici 2 potrjujejo, da je treba izbrati način merjenja pri dotiku in s čim manjšo pritiskno silo.

5. MOŽNE UPORABE

Iz rezultatov meritev je razvidno, da je mogoče uporabljati metodo identifikacije površine za konstrukcijo merilnih sistemov za merjenje dolžin z mikrometrsko natančnostjo. Potrebna je le povezava tipala električnega kontakta prek ustreznega elektronskega vmesnika na kakršenkoli inkrementalni merilni sistem. Pri laserskem merilnem sistemu je osnovni merilni inkrement zelo majhen. Podjetje Dr. J. Heidenhain izdeluje cenene optične inkrementalne merilnike dolžin z ustrezno elektroniko. Natančnost teh merilnih letev je ± 3 , ± 5 in $\pm 10 \mu\text{m}$.

Iz prikazanih komponent bi bilo mogoče konstruirati cenen, toda dokaj natančen merilni sistem za avtomatično merjenje obdelovancev. Takšen merilni sistem naj bi bil sestavljen takole:

- eno ali večkoordinatni servosistem za premikanje tipala,
- kontaktno tipalo z vzmetjo,
- elektronski vmesnik tipala,
- inkrementalna optična merilna letev MINILIDA ($\pm 3 \mu\text{m}$),
- števna elektronika za vrednotenje rezultatov.

Poleg prikazanega samostojnega merilnega sistema si je mogoče zamisliti tipalo na osnovi električnega kontakta integrirano (kot eno orodje) v obstoječe obdelovalne sisteme CNC z avtomatično menjavo orodja. Med obdelavo ali pa po končani obdelavi bi bilo mogoče s takšnim merilnim orodjem avtomatično dobiti mere obdelovanca. Mere bi bile lahko *absolutne* ali pa prikazane v obliki *tolerance* v tolerančnem polju. Povezava elektronike merilnega sistema in elektronike obdelovalnega sistema CNC pa bi omogočala avtomatično korigiranje vrednosti parametrov obdelave.

LITERATURA

[1] K. Horn: Überblick über moderne Verfahren der In-Process-Messung in der Fertigungstechnik. CIRP-Annals 1977, Vol. 26/1-1977.

[2] A. Grželj: Razvoj in raziskava merilnih metod za avtomatsko merjenje dimenzij obdelovanca za adaptivno krmiljenje. Doktorska naloga, Fakulteta za strojništvo, 1977.

[3] M. Milčinski: Razvoj in raziskava laserskega merilnega sistema za geometrično adaptivno krmiljenje. II. seminar, Fakulteta za strojništvo, 1977.

[4] Hewlett Packard — Laser Measurement System 5526A, Santa Clara, 1973.

Avtorjev naslov: mag. Ernest Zebec, dipl. ing.,
Fakulteta za strojništvo
v Ljubljani