

UDK 681.32:621.923

## Sprotno merjenje in vrednotenje parametrov v obdelovalnih procesih

FRANC ROETHEL

### 1. Uvod

Večino procesov v obdelovalnih sistemih smo že doslej zasledovali z merjenjem parametrov pred in med procesom ter po njem. Meritve smo opravljali z merilnimi stavki, ki so vsebovali senzorje, ojačevalnike in primerne naprave za zapisovanje ali odbiranje. Odbiranje rezultatov meritve na kazalnih instrumentih je precej zamudno delo in dopušča subjektivne napake. Kljub vsemu se brez posebne opreme temu ne moremo izogniti. Prvo izboljšanje postopka merjenja je neposreden zapis parametrov procesa z mehaničnimi pisali. Pri tem je treba vrednosti na posameznih merilnih mestih izmeriti ročno. Večkrat imamo na voljo poseben registrirni papir, ki dopušča neposredno odbiranje merjenih vrednosti z vrisanim merilom na papirju. Te vrednosti nato vrednotimo ročno ali strojno. Pri procesih z naključnimi lastnostmi imamo veliko množico podatkov. Njihovo vrednotenje je zato zelo zamudno delo.

V zadnjem času si pomagamo z vrednotenjem na digitalnih računalnikih. Ti omogočajo hitrejše vrednotenje z znanimi statističnimi metodami. Pri takem delu seveda ni mogoče meriti vrednosti med procesom in hkrati krmiliti obdelovalni sistem. To lahko opravimo le s posebnim procesnim računalnikom, ki omogoča neposredni vhod vrednosti merjenega podatka z merilnega mesta. Seveda mora biti tak podatek primerno fizikalno transformiran, da ga tak računalnik razume. V okviru raziskovalnega dela na Fakulteti za strojništvo smo razvili paket programov za snemanje procesov s procesnim računalnikom IBM S/7 in za njihovo nadaljnje vrednotenje na računalniku IBM 1130. Pričujoče delo obravnava uporabnost programov tudi na primeru.

### 2. Možnosti za meritve

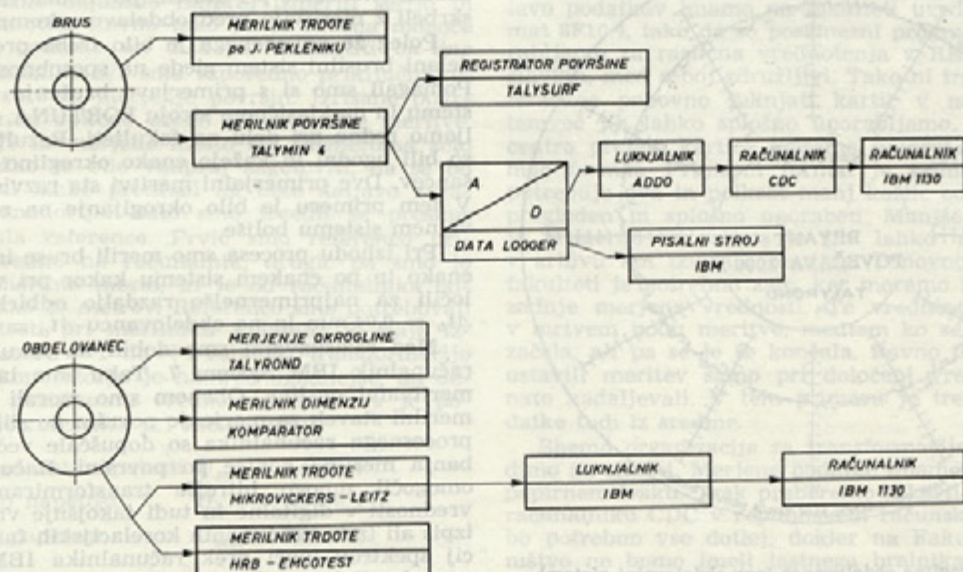
S senzorji (kapacitivnimi, induktivnimi, piezo-električnimi, merilnimi lističi in drugimi) lahko otipavamo deformacije in spremembe fizikalnih veličin na orodjih, obdelovancih in strojih. Z dajalniki je mogoče sestav-

ljati merilne stavke za vse vrste deformacij in s tem posredno za napetosti in sile. Tako sta bila že izdelana dva merilna stavka za merjenje sil pri brušenju. Ravno tako je v rabi poseben merilni sistem za merjenje sil pri odrezavanju. Z napravo Talysurf je mogoče meriti površine neposredno ali posredno prek odtisov ter izrisavati rezultate in jih hkrati vrednotiti s prigraje-nim računalnikom. Naprava omogoča tudi priklop k merilnemu stavku. Za merjenje večjih hrapavosti ji je treba dodati napravo Talymin. Okrogline merimo z napravo Talyrond, ki ima prav tako lasten računalnik in tudi električni izhod. Načine merjenja si lahko najlepše ogledamo na primeru.

### 3. Merjenje površin pri procesu brušenja

Pri raziskavi notranjega brušenja s krmiljeno konstantno primično silo so nas zanimala karakteristike površin brusov in obdelovancev v brusilnem procesu. Zato smo postavili merilne stavke po sliki 1. Ti stavki prikazujejo načelo *off-line* meritev. Površino brusa smo merili po profilu rezalne površine pravokotno na smer rezanja. Tako smo določili rezalni profil. Za meritve smo uporabljali merilnik Talymin 4. Hitrost gibanja merilne konice po površini je predpisovala podajna naprava. Na njej ni bilo mogoče spreminjati hitrosti. Merjene signale smo vodili na registrator površine Talysurf. Tu smo površino izrisali v povečanem merilu. Iste signale smo vodili tudi na analogno-digitalni pretvornik. Izhodne digitalne signale iz pretvornika pa smo vodili na luknjač ADDO za luknjanje papirnega traku. Domači računalnik IBM 1130 nima vhodne enote za branje papirnega traku. Zato smo morali merjene vrednosti še enkrat transformirati iz luknjanega traku v luknjane kartice. To operacijo smo opravili v republiškem računskem centru. Sele te podatke, izluknjane na kartice, smo lahko vrednotili na fakulteti.

Analogno-digitalni pretvornik dopušča le do 3 odbirke na sekundo. Kombinacija podajne naprave za gibanje merilne konice in pretvornika je omejila skupno



Sl. 1. Shema »off-line« meritev vhoda brusilnega procesa

hitrost merjenja na en sam odbirek na sekundo, merilno dolžino pa na 10 mm. Predpostavljene medsebojne razdalje odbirkov so znašale 0,01 mm, kakor je to priporočeno v literaturi [1]. Praviloma bi morali imeti 6000 vrednosti, vendar bi za to potrebovali 60 mm širok brus. Naš brus za notranje brušenje pa je bil širok le 32 mm. Očitno je, da obeh zahtev ne bi bilo mogoče izpolniti. Tudi s popolnejšim merilnim stavkom, ki bi omogočal daljšo merilno dolžino, bi bila širina brusa še vedno vzrok za omejitve. Pri notranjem brušenju in pri drugih vrstah brušenja z ožjimi brusmi bomo morali tudi v prihodnje računati s takimi omejitvami.

Druga metoda bi bila merjenje in ocenjevanje hrupnosti površine brusa po obodu. Kakor vemo, so bile deloma izvedene že tudi takšne meritve [2]. Sam postopek identificiranja za avtomatizirano vrednotenje bi

bil težaven, ker terja pri merilnem stavku dodatno rotacijsko gibanje brusa. Poleg tega še ni dovolj zanesljivo raziskano, če sta oba profila (v smeri in pravokotno na smer rezanja brusa) resnično enaka za vse vrste brusov, torej tudi za majhne bruse pri notranjem brušenju. Posebno moramo biti pozorni na to, da ostrenje bruse tudi profilira po predpisanih pogojih, ki pa niso v obeh smereh enaki.

Za preskus vrednotenja smo imeli na voljo 1000 odbirkov na dolžini 10 mm. Izkazalo se je, da je za dovolj zanesljivo vrednotenje taka merilna pot prekratka, večje pa instrument ni dopuščal. Zaradi počasnosti merilnega stavka je trajala ena meritev približno 20 minut. Medsebojno razdaljo odbirkov smo lahko brez velikih odstopkov na korelacijskih funkcijah povečali na 0,02 mm in celo na 0,04 mm.

Problem prekratke merilne poti smo rešili drugače. Po statističnih načelih, da lahko množico popišemo z eno meritvijo pri zahtevani natančnosti ali pa z več meritvami manjših skupin, smo ugotovili, da se lahko zadovoljimo z osmimi meritvami in ustreznimi korelacijskimi funkcijami na eni površini. Pri tem je treba izračunati 8 funkcij in poiskati njihovo srednjo vrednost. Za določanje zanesljivosti za vsa območja smo izvedli 50 meritev. Teh posebej ne bomo navajali, ker so bile namenjene le za določanje obsega in omejitve meritev.

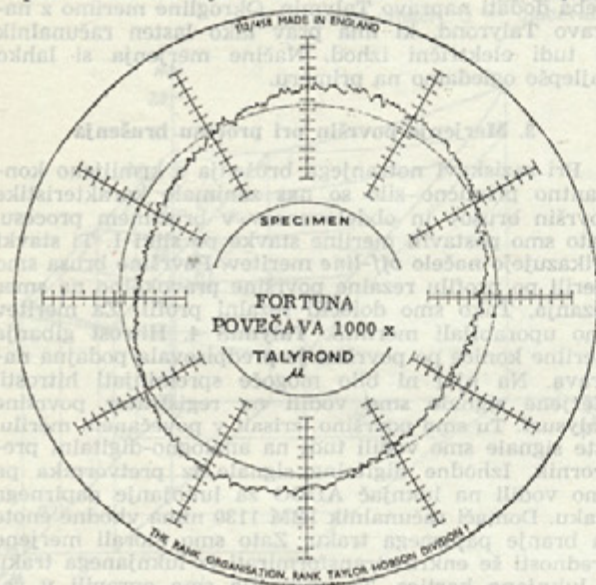
Za preverjanje luknjanega traku smo vzporedno k luknjalniku priključili še pisalni stroj IBM in izpisovali merjene podatke. Tako smo zanesljivo preverili pravilnost meritve in luknjanja. Optično smo meritve zasledovali še na osciloskopu s spominom in sproti z izpisom na pisalni stroj preverjali gibanje analognega signala prek A/D pretvornika.

Z istim merilnim stavkom kakor pri brusih smo merili tudi površino obdelovanca. Spreminjati je bilo treba le navpično povečavo in upočasniti vodoravni pomik tipala. Tudi tu smo imeli prekratko merilno dolžino. Pomagali smo si kakor pri brusih z izračunom srednjih vrednosti ordinat avtokorelacijskih funkcij in spektrov moči. Širina obdelovanca je bila 13 mm. Po literaturi je potrebna razdalja med odbirki za fino merjenje površin 0,005 mm [3]. To pa bi bilo za naše merjenje zamudno in nepotrebno. S preskusi smo ugotovili, da je najprimernejše razmerje med merjenimi razdaljami na površinah brusov in obdelovancev 1:4. Tako smo najbolje zajeli celotno območje meritev. Za enotne okoliščine pri dimenzijah obdelovancev smo poskrbeli z meritvijo pred obdelavo s komparatorjem.

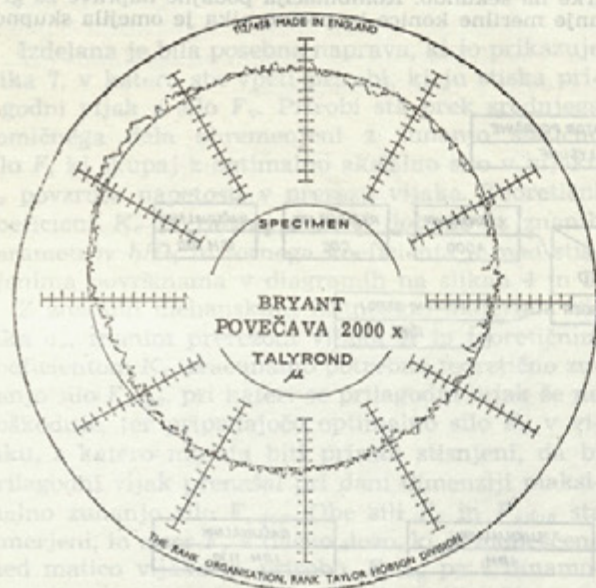
Poleg že navedenega je bilo treba preskusiti še izdelani brusilni sistem glede na sposobnost okrogljanja. Pomagali smo si s primerjavo brušenja na novem sistemu in na klasičnem stroju FORTUNA, ki ga uporabljamo redno pri delu na fakulteti. Rezultati preskusov so bili ugodni in kažejo enako okroglino obeh preskušancev. Dve primerjalni meritvi sta razvidni na sliki 2. V tem primeru je bilo okrogljanje na našem obdelovalnem sistemu boljše.

Pri izhodu procesa smo merili bruse in obdelovance enako in po enakem sistemu kakor pri vходу ter določili za najprimernejšo razdaljo odbirkov na brusu  $\Delta t_b = 0,04$  mm in na obdelovancu  $\Delta t_o = 0,01$  mm.

Med raziskavami smo dobili na fakulteto procesni računalnik IBM System 7. Tako smo lahko pričeli z meritvami *on-line*. Obenem smo morali postaviti nov merilni stavek za merjenje površin po sliki 3. Možnosti procesnega računalnika so dopuščale večjo hitrost gibanja merilne konice po površini. Računalnik S/7 je omogočil mnogo hitrejšo transformiranje analognih vrednosti v digitalne in tudi takojšnje vrednotenje ter izpis ali izris izračunanih korelacijskih funkcij in funkcij spektrov moči prek računalnika IBM 1130. Tako smo skrajšali merilne čase in obenem povečali merilne dolžine.

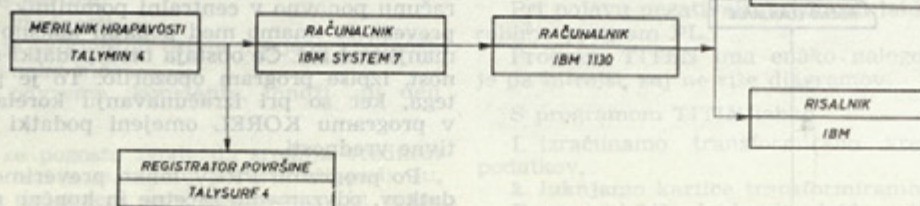


Merjenje okrogline obdelovanca na stroju Fortuna



Merjenje okrogline obdelovanca (nov obdelovalni sistem)

Slika 2



Sl. 3. Merilni stavek za »on-line« merjenje in vrednotenje površin

Merilno napravo za merjenje hrapavosti smo opremlili s podajno mizico, ki se giblje s hitrostjo 76 mm/min. Na to mizico smo pritrdili brus ali obdelovanec in ga vodili pod tipalom. Za fino merjenje površine obdelovanca smo potrebovali približno 256 odbirkov na sekundo, kar ustreza razdalji med odbirki  $\Delta t_b = 0,005$  mm. Za to meritev smo izdelali *assembler*-ski program za računalnik S/7 z imenom HZ 256.

V prvi fazi teh meritev smo se odločili testirati površino brusov z gostimi odbirki na razdaljah 0,02 mm. Izdelali smo program z imenom TAL 64, ki daje 64 odbirkov na sekundo. Zaradi omejenega hitrega spomina na računalniku IBM 1130 (8 K) smo se odločili za maksimalno korelacijsko dolžino  $L = 200$  in  $N = 1500$  merjenih podatkov. Število podatkov, ki jih lahko tako merimo, ustreza prav širini brusa. Za obdelavo podatkov in izpis ter izris normalizirane avtokorelacijske funkcije, funkcije spektra moči in zglajenega spektra moči potrebuje računalnik približno pol ure. Nadaljnje povečevanje korelacijskih dolžin ali števila podatkov privede pri tako majhnem računalniku do nesprejemljivih časov obdelave. Počasnost obdelave je predvsem v izpisih in izrisih rezultatov.

Poglejmo si meritev še malo podrobneje! Z merilnega mesta, ki je oddaljeno od računalnika S/7 približno 30 m, smo prenesli signal z oklopljenim kablom v pretvornik v računalniku. Tu smo podatke shranili v pomnilnik in jih na poziv prenesli v pomnilnik IBM 1130. S fortranskim programom smo te podatke izlučevali na kartice za poznejšo obdelavo. To je bilo potrebno zaradi počasnosti vrednotenja IBM 1130 in zato, da smo lahko sproti kontrolirali merjene vrednosti na izpisu. Tako smo dejansko najprej izmerili serijo in šele nato vrednotili. Ravno tako pa je seveda mogoče takoj izpisati podatke na disk in vrednotiti *on-line* (sl. 3). K računalniku S/7 smo vzporedno priključili registrator Talysurf za merjenje površin. Izrisane površine so rabile za optično oceno in kontrolne meritve. Računalnik S/7 in merjeno mesto sta razmeroma zelo oddaljena. Težko je bilo vnaprej zagotoviti, da se bo analogni signal lahko prenesel na tako daljavo z zadovoljivo natančnostjo. Zato smo izvedli še preskus prenosa signala reference. Prvič smo referenco priključili neposredno na računalnik, drugič pa smo jo postavili na merilno mesto, ki je od računalnika oddaljeno približno 30 metrov. Referenco smo potrebovali za dvig napetosti pri merilniku Talymín, ki daje izhodno napetost od  $-1$  do  $+1$  volt. Za transformacijo podatkov na konvertorju je namreč ugodnejše, da delamo samo s pozitivnimi vrednostmi. Meritev je pokazala, da daje referenca pri računalniku:

$$\text{srednjo vrednost napetosti } U_{sr} = 2,4359 \text{ V}$$

$$\text{maksimalno napetost } U_{max} = 2,4379 \text{ V}$$

$$\text{minimalno napetost } U_{min} = 2,4341 \text{ V}$$

Iz te meritve lahko sklepamo, da se pojavljajo odstopki šele na četrtem decimalnem mestu.

Drugič smo postavili referenco na delovno mesto, ki je od računalnika oddaljeno približno 30 m. Pri tem smo dobili:

$$\text{srednjo vrednost napetosti } U_{sr} = 2,4211 \text{ V}$$

$$\text{maksimalno napetost } U_{max} = 2,4388 \text{ V}$$

$$\text{minimalno napetost } U_{min} = 2,4010 \text{ V}$$

Srednji padec napetosti od merilnega mesta do računalnika znaša

$$\Delta U = 0,0148 \text{ V}$$

Motnje so prinesle naslednja odstopanja od srednje vrednosti napetosti:

$$+U_{mot} = +0,73 \%$$

$$-U_{mot} = -0,79 \%$$

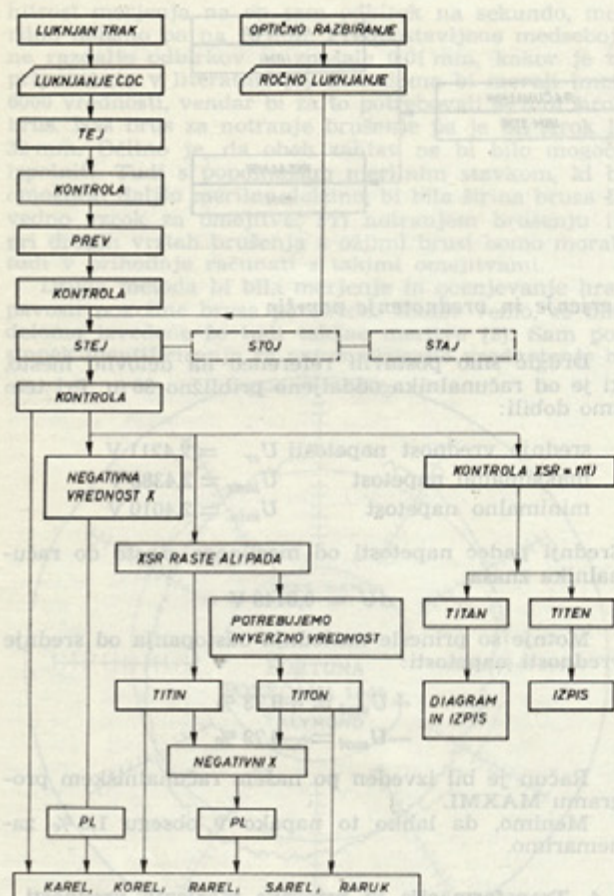
Račun je bil izveden po našem računalniškem programu MAXMI.

Menimo, da lahko to napako v obsegu 1,5 % zanemarimo.

#### 4. Transformacija in priprava merjenih vrednosti za računalniško obdelavo (*off-line*)

Merjene vrednosti zapisuje analogno digitalni pretvornik prek luknjalnika na luknjan trak. Na Fakulteti za strojništvo nimamo na voljo bralnika traku. Zato je treba prenesti vse vrednosti na luknjane kartice. To prvo transformacijo smo opravili pri naših raziskavah doslej na računalniku CDC. V tem primeru prenesemo podatke v čim gostejšem formatu na kartice. Za obdelavo podatkov imamo na fakulteti uveden enoten format 8F10.4, tako da so posamezni programi, ki jih uporabljamo za različna vrednotenja v READ in WRITE stavkih, med seboj združljivi. Tako ni treba za različne izračune ponovno luknjati kartic v novih formatih, temveč jih lahko splošno uporabljamo. Iz računskega centra prejete kartice moramo najprej prevesti v domač format. Primarni format je primeren zato, ker potrebuje dva in polkrat manj kartic od našega, ni pa pregleden in splošno uporaben. Manjše število kartic je primerno za prenos in jih lahko nato obdržimo v arhivu kot izvirnik meritve. Ponovno luknjanje na fakulteti je potrebno zato, ker moramo izločiti prve in zadnje merjene vrednosti. Te vrednosti smo posneli v mrtvem hodu meritve, medtem ko se meritev še ni začela, ali pa se je že končala. Ravno tako smo lahko ustavili meritev samo pri določeni vrednosti in šele nato nadaljevali. V tem primeru je treba izločiti podatke tudi iz sredine.

Shemo organizacije za transformacijo podatkov vidimo na sliki 4. Merjene podatke imamo na luknjanem papirnem traku. Trak preberemo in kartice luknjamo na računalniku CDC v republiškem računskem centru. To bo potrebno vse dotlej, dokler na Fakulteti za strojništvo ne bomo imeli lastnega bralnika traku. Iz računskega centra prejete kartice analiziramo s programom TEJ. Ze v tem programu predvidimo in



Slika 4

izlknjamo vodilno kartico. Zato so v sam program vloženi vodilni podatki. Naloga programa je, da prešteje merjene vrednosti. Njihovo število potrebujemo za vodenje nadaljnjih operacij. Program dopušča, da se pojavita za merjenimi podatki dve vrednosti zaporedoma enaki nič. Obe vrednosti program izpiše. To pomeni, da imamo lahko med merjenimi podatki samo dve zaporedni ničli. Ni verjetno, da bi funkcija imela tri zaporedne podatke enake nič. V tem primeru smo izbrali premajhno razdaljo med posameznimi merilnimi podatki. Ker velja to že za dva podatka, mora program to izpisati. Takoj, ko se pojavijo zaporedoma tri merjene vrednosti enake nič, prenehamo s štetjem. Števec zmanjšamo za tri mesta in ga vnesemo v vodilno kartico. Meritev je tako končana. Če je merjenih podatkov manj od 160, to računalnik izpiše in nas opozori, v katerem območju vzorčenja smo.

Program TEJ torej

1. prešteje podatke,
2. izpiše njihovo končno število in izlknja vodilno kartico,
3. opozori, če je merjenih vrednosti manj kakor 160,
4. izpiše mesta, na katerih je merjena vrednost enaka nič.

Z vodilno kartico iz programa TEJ po kontroli vplejemo program PREV. Po prvi analizi in kontroli, ki jo je opravil TEJ, luknjamo kartice v domač format. Programa, ki vsebuje večje število podatkov, ni mogoče izvajati v centralnem pomnilniku računalnika naenkrat.

Treba ga je razdeliti na območja. Glede na našo konfiguracijo (8K) in zmogljivost ter organizacijo diska prenašamo po 160 podatkov pri branju na disk in pri računu ponovno v centralni pomnilnik. Program PREV preveri, če imamo med podatki kakšno vrednost, ki je manjša od nič. Če obstaja med podatki negativna vrednost, izpiše program opozorilo. To je potrebno zaradi tega, ker so pri izračunavanju korelacijskih funkcij v programu KOREL omejeni podatki samo na pozitivne vrednosti.

Po programu PREV lahko preverimo prvi izpis podatkov, odvzamemo začetne in končne vrednosti, ki jih je luknjal luknjalnik traku, ko še ni bilo merilnih impulzov, in preverimo vmesne vrednosti. Med meritvijo se lahko pokažejo vrednosti, ki niso v linearnem območju merilnih instrumentov. Po presoji lahko delo nadaljujemo ali pa meritev zavržemo. Program PREV torej

1. luknja kartice v formatu 8F10.4,
2. opozori z izpisom, če je kakšna vrednost merjene veličine manjša ali enaka nič,
3. izpiše merjene vrednosti.

Kartice z nepotrebnimi ali zanemarjenimi podatki odstranimo in prečiščene vložimo v program STEJ. Računalnik po programu prešteje število merjenih vrednosti  $x$  v nizu in izpiše vse vrednosti za  $x$ . Tako jih lahko kontroliramo in primerjamo z vrednostmi iz programa PREV. Na koncu izpiše računalnik število podatkov in luknja novo vodilno kartico. Med delom kontroliramo s tem programom vse vrednosti  $x$  ter izpišemo mesta, na katerih so vrednosti enake nič. Prav tako izpiše računalnik opozorilo na mestu, kjer ima  $x$  negativno vrednost. Kadar je podatkov manj od 160, izpiše opozorilo. To se zgodi tudi, če so se pojavile v nizu trikrat zaporedoma vrednosti nič za  $x$ . V tem primeru izpiše le zadnje mesto in ustavi delo.

Program STEJ torej

1. izpiše vse podatke, ki jih nameravamo vrednotiti,
2. opozori, če je v nizu negativna vrednost,
3. opozori na dolžino niza,
4. izpiše mesta, kjer je merjena vrednost enaka nič,
5. prešteje vse podatke,
6. ustavi program, če imajo merjene vrednosti zaporedoma več kakor dve ničli,
7. izpiše, na katerem mestu je bilo zadnje število pred tremi ničlami,
8. luknja vodilno kartico za nove reducirane in prečiščene podatke.

V program STEJ vložimo lahko optično odbrane in ročno luknjane merjene vrednosti. Program STEJ ima sorodne programe STOJ in STAJ, ki jih lahko uporabljamo za enak namen. Razlika med njimi je le v podatku vodilne kartice za izračun korelacijske funkcije. Ta podatek navaja različno korelacijsko dolžino. Vodilno kartico lahko nato uporabimo neposredno pri programih za izračun korelacijskih funkcij, avtokorelacijskih funkcij, križnih korelacijskih funkcij, spektrov moči in zglajenih spektrov moči izmerjenih podatkov, ki pomenijo naključno funkcijo. Ti programi so: KOREL, KAREL, RAREL, SAREL in RARUK. Vsi izračunavajo navedene funkcije pri danih pogojih vodilne kartice.

Pri kontroli izpisa programa STEJ lahko ugotovimo, da ima niz nekaj negativnih vrednosti. Takrat je treba uporabiti program PL. Z menjavo ene kartice je mogoče v programu zamenjati število, ki ga moramo prišteti merjeni vrednosti, da dobimo same pozitivne vrednosti. S predelanimi podatki po programu PL lahko tudi priredimo pravilno merilo v predpisanih enotah za merjene vrednosti.

Program PL opravlja torej naslednje naloge:

1. luknja nove kartice,
2. izpiše nove vrednosti,
3. opozori, če je še kjerkoli ostala merjena vrednost, ki je manjša ali enaka nič,
4. dodaja ali odvzema konstante, množi ali deli s konstanto.

Pri meritvah se pogosto zgodi, da srednja vrednost merjene količine teži k stalnemu porastu ali padanju, čeprav vemo, da je proces sam stacionaren in ergodičen. Tak primer se pojavlja pri merjenju replik površine brusa. Replika je namreč elastična in bi jo pri fiksiranju v merilno napravo lahko deformirali. Zato lahko uporabljamo matematične računalniške metode za zravnavanje srednjih vrednosti stohastičnega procesa. Te metode lahko uporabljamo le pri majhnih odstopanjih, sicer bi morali korigirati tudi medsebojno razdaljo podatkov v časovnem nizu. Srednje vrednosti zravnavamo tako, da izračunamo regresijsko premico merjenih veličin in odštejemo na vsakem merilnem mestu njeno ordinato. Za testiranje dviga ali spusta srednjih vrednosti merjenih količin uporabljamo program TITAN. Program izpiše vhodne merjene vrednosti v tabeli, izračuna zravnavano vrednost XR na vsakem mestu in inverzno vrednost XN. V obliki tabele izpisuje vse vrednosti za X, XR in XN ter vzporedno piše diagram za optično ocenitev vseh treh vrednosti. Obenem pa opozori, če je katera od vrednosti XR ali XN manjša od nič. Tako jo lahko po potrebi popravimo. Če je X manjši od nič, se računalnik ustavi in izpiše mesto, kjer se je pojavila ničla. Po programu TITAN izračuna računalnik statistične karakteristike za podani niz X in jih izpiše. Tako jih lahko kontroliramo in primerjamo z izpisom, ki smo ga dobili pozneje s programom KOREL.

Program TITAN torej

1. izpiše vhodne podatke,
2. izpiše statistične karakteristike,
3. zriše diagram vhodnih podatkov,
4. transformira podatke na konstantno srednjo vrednost,
5. opravi inverzijo transformiranih podatkov,
6. izpiše primerjavo med vhodnimi, transformiranimi in inverznimi vrednostmi,
7. nariše primerjalni diagram med vhodnimi, transformiranimi in inverznimi vrednostmi,
8. opozori, kadar so transformirane in inverzne vrednosti manjše od nič,

9. ustavi izvajanje, če je merjeni vhodni podatek manjši ali enak nič.

Pri pojavu negativnih vrednosti lahko ponovno uporabimo program PL.

Program TITEN ima enako nalogo kakor TITAN, je pa hitrejši, saj ne riše diagramov.

S programom TITIN lahko

1. izračunamo transformirano vrednost merjenih podatkov,
2. luknjamo kartice transformiranih vrednosti.

Program izpiše, kadar je vhodna ali transformirana vrednost manjša ali enaka nič. Pri vhodni vrednosti nič ustavi delo računalnika.

Program TITON

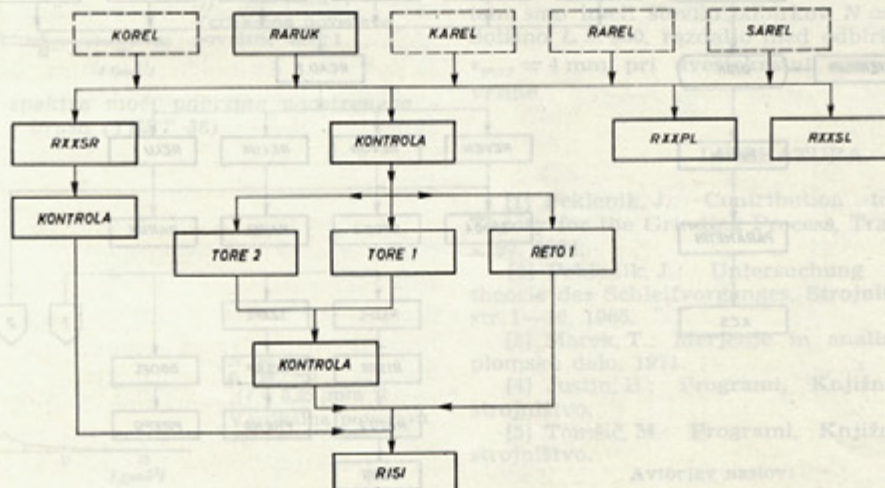
1. izračuna inverzne transformirane vrednosti merjenih podatkov,
2. luknja kartice inverznih transformiranih vrednosti,
3. pri vhodni vrednosti nič ustavi delo,
4. izpiše opozorilo, kadar je vhodna ali izhodna vrednost manjša ali enaka nič.

S transformiranimi podatki in isto vodilno kartico lahko uporabimo neposredno programe za izračun korelacijskih funkcij, spektrov itd.

#### 5. Obdelava in vrednotenje *off-line* merjenih vrednosti na računalniku IBM 1130

V prejšnjem poglavju smo opisali pripravo podatkov tako, da jih lahko vložimo v računalnik in izračunavamo vse potrebne osnovne statistične vrednosti, avtokorelacijsko funkcijo, križno korelacijsko funkcijo in spektre moči. Vse te zahteve izpolnjujejo programi KAREL, RAREL, SAREL, RARUK. Iz osnovne zamisli programa KOREL, ki je bil že opisan [4], smo izdelali program RAREL. Program izračuna in izpiše osnovne statistične podatke na pisalnik. Prav tako izračuna avtokorelacijsko funkcijo in izpiše njene vrednosti. V nadaljevanju izriše avtokorelacijsko funkcijo na risalnik. Nato nadaljuje program z računom zglajenega spektra.

Program SAREL računa osnovne statistične podatke za dva merjena niza in izračuna križno korelacijsko funkcijo med obema nizoma, križni spekter moči in zglajeni spekter moči. Pri programu SAREL predvidevamo, da bomo podatke, ki smo jih izračunali in izrisali, še potrebovali za poznejšo obravnavo in jih zato vložimo na disk. Od tu jih je mogoče poklicati s poljubnim programom in s pravičnim naslovom.



Sl. 5. Organizacija vrednotenja *off-line* merjenih vrednosti

Izračunane korelacijske funkcije in spektre moči lahko nato naprej vrednotimo. Za izračun standardne deviacije, variance in aritmetične sredine skupine nizov na poljubnem mestu lahko uporabljamo program RXXSR. Te vrednosti program izračuna in izpiše. Izris srednjih vrednosti skupine nizov na posameznih mestih na pisalniku izvede program RXXSL. Izrisi na pisalnik so zelo natančni, ker je zaznamovana vsaka točka posebej v velikem merilu.

Boljši pregled nad skupino nizov in njeno srednjo vrednostjo daje program RXXPL [5], ki izriše vse nize in zaznamovano srednjo vrednost na risalnik. Natančnost posamezne točke se seveda izgubi.

Izračunane korelacijske funkcije in spektre kosinusno eksponencialnega značaja lahko prevedemo na prilagojeno funkcijo deterministične oblike in izračunamo koeficiente s programom TORE1 in TORE2 [5]. Oba programa sta narejena po izvirnem programu CDC za določanje koeficientov krivulj z iteracijsko metodo na podlagi najmanjših kvadratov odstopanj. Merjeno in izračunano krivuljo izrišemo s programom RISI. Za osnovno merjeno krivuljo smo dobili luknjane kartice z uporabo stikala 2 pri programu RXXSL.

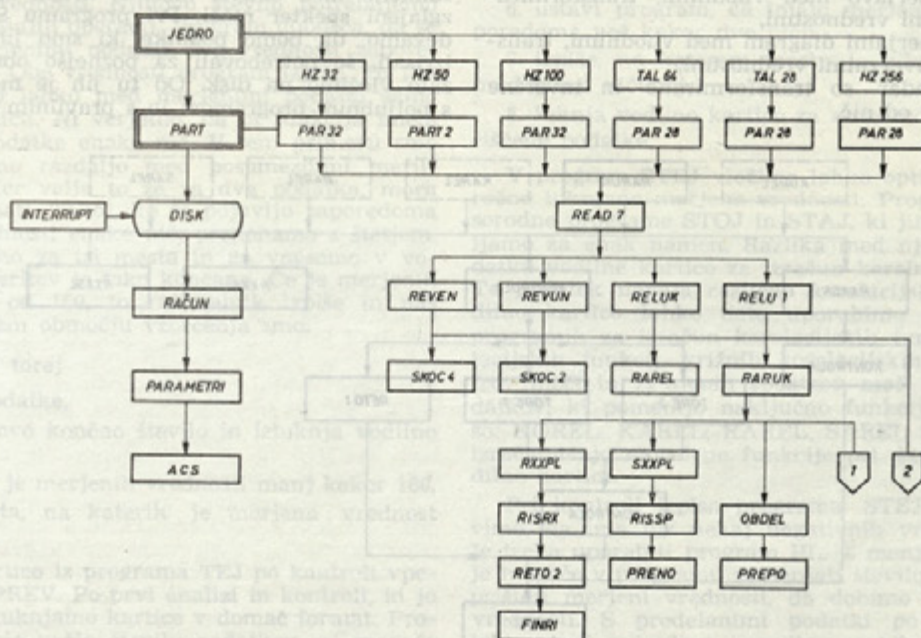
Organizacijo del na računalniku IBM 1130 pri vrednotenju *off-line* merjenih vrednosti vidimo na sl. 5. Izmerjene in urejene podatke obdelamo s programi RARUK, SAREL, RAREL, KOREL in KAREL. Izračunane vrednosti korelacijskih funkcij in spektrov moči kontroliramo in jih vrednotimo s programom RXXSR. Rezultate vrednotenja lahko izrišemo s programom RISI. Po drugi poti lahko izračunamo najbližjo deterministično funkcijo za merjene funkcije s programi TORE1, TORE2 in RETO1, ki rabi še za luknjanje kartic. Izračunane vrednosti lahko tudi izrišemo na pisalnik z RXXSL ali na risalnik z RXXPL.

## 6. On-line merjenje in obdelava podatkov

Z uvedbo procesnega računalnika v merilni sistem za merjenje procesov se ves postopek zelo poenostavi. Merilni stavek z vključenim procesnim računalnikom IBM System 7 je bil že opisan. Za obdelavo podatkov je bilo treba pripraviti nov *software* in obenem izkoristiti še vsega, ki je že bil izdelan.

Novo organizacijo obdelave podatkov si lahko ogledamo na sliki 6. Za računalnik S/7 še ni bil izdelan program DSP za povezavo IBM 1130 z avtomatičnim *interruptom*. Ravno tako nismo imeli primernega *compiler*-ja za prevod instrukcij iz Fortrana v strojni jezik. Tako je bilo treba izdelati vse potrebne programe za S/7 v *assemblerju*. Vse instrukcije smo z luknjanim trakom in teleprintersko enoto prenesli neposredno v S/7. Za osnovno delo smo prejeli od podjetja IBM programsko osnovo JEDRO, PART in READ7 v karticah, UPIPL in UZERO na traku ter programe na disku. Iz programskih osnov smo izdelali z makroji serijo programov HZ in TAL. Z njimi je mogoče predpisati število vhodov v računalnik, zaporedni vrstni red odbirkov, velikostni red vhodne napetosti, čas odbiranja in vmesne čase med dvema odbirkoma. Vsi programi so v hitrem spominu S/7. Potrebno število odbirkov in naslove v računalniku — v odvisnosti od že navedenih programov — predpišemo s serijo programov PAR, ki so izdelani po PARTu. Posebej teh programov ne bomo obravnavali, ker so pisani v *assemblerju* in za splošno uporabo niso zanimivi. Poleg tega so zelo dolgi, saj znaša izpis enega programa okrog 46 strani.

Za povezavo med S/7 in IBM 1130 uporabimo program READ7. Za našo meritev je to popolnoma zadoščalo, ker smo morali vsako meritev posebej preverjati. Program READ7 omogoča tudi fortranski vstop v S/7 s strani 1130 z ročnim *interruptom*. Zato je bilo mogoče od tu naprej delati v Fortranu. Za izpis podatkov sta izdelana programa REVEN in REVUN. Program REVEN in še nekatere izvedenke, ki jih posebej ne navajamo, se razlikujejo med seboj le toliko, da je mogoče odbirati podatke v poljubnem številu (ki pa je omejeno od PAR), na poljubnem mestu in v poljubnem vrstnem redu. Za hitrejšo obdelavo podatkov smo izdelali še serijo programov RELU, ki opravljajo enako delo kakor REV —, imajo samo še dodatek za luknjanje kartic, tako da je mogoče merjene podatke spraviti v arhiv in jih pozneje uporabljati za razna vrednotenja. Z isto serijo programov je mogoče shranjevati podatke na disk in jih nato avtomatično vrednotiti.



Sl. 6. Organizacija obdelave »on-line« merjenih vrednosti

Program RAREL je bil že opisan. RARUK je izvedenka iz RARELA, ki luknja vrednosti izračunanih avtokorelacijskih funkcij, funkcij spektrov moči in funkcij zglajenih spektrov moči na kartice. S temi karticami je mogoče vložiti serijo funkcij za vrednotenje po programih RXXPL, SXXPL (bila sta že opisana), RISRX in RISSP. Poslednja dva dajeta izris srednje vrednosti korelacijskih funkcij in spektrov. S programom RETO 2 poiščemo prilagojeno se krivuljo za avtokorelacijsko funkcijo oziroma srednjo vrednost serije funkcij. Program FINRI izriše korelacijsko funkcijo, s podanimi koeficienti izračuna prilagojeno krivuljo in jo tudi izriše. Module povečanja računamo pri enakem merilu s programom PRENO. Po izračunu dobimo izris. Program RETO 2 je izpeljanka programa TORE, ki smo ga že omenili. Programi PRENO, OBDEL, PREPO, FINRI, SKOC 4, SKOC 2 pa so bili na novo izdelani. Kadar so medsebojne frekvence na vходу in izhodu merjene v različnih merilih, moramo s programom OBDEL reducirati posamezne vrednosti in poiskati zanimiv pas modula povečanja. Program PREPO

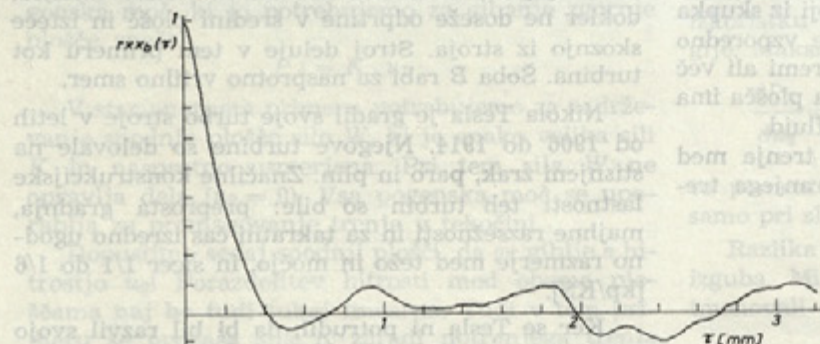
vrednoti reducirane pasove. Tak primer smo imeli pri modelu med površino obdelovanca in površino brusa. Programa SKOC 2 in SKOC 4 lahko samostojno reducirata število podatkov ali rezultatov vrednotenja na polovico ali četrtino.

V okviru tega poglavja smo skušali opisati potrebne programe za vrednotenje in merjenje parametrov naključnih procesov. Poleg navedenih smo izdelali še nekaj testnih in manjših programov za osnovne operacije.

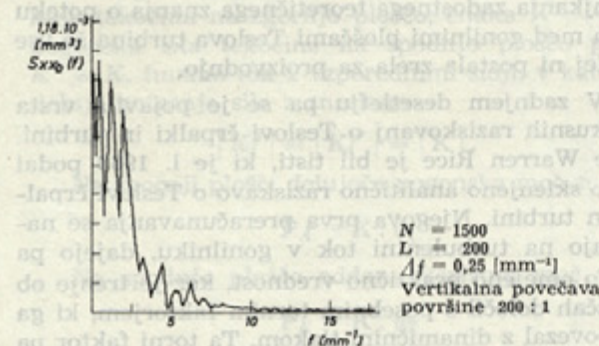
### 7. Sklep

V tem prispevku smo skušali kratko podati opis nove merilne opreme, ki jo lahko uporabljamo pri raziskovalnem delu. Hkrati smo želeli podati pregled izdelanih programov za merjenje naključnih funkcij s procesnim računalnikom IBM System 7. Vsi programi so še v nadaljnjem razvoju. Programe za snemanje prilagajamo za več vhodov in različne frekvence odbiranja, ki bodo še potrebne.

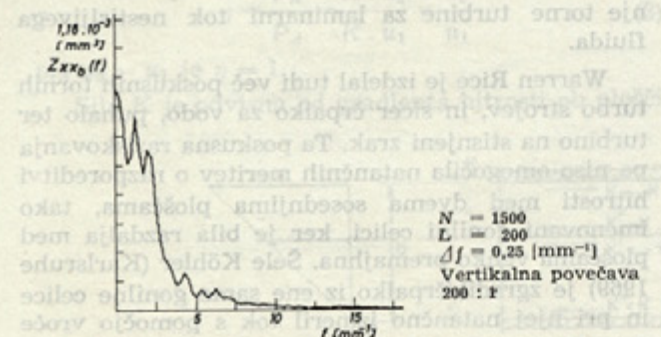
Ravno tako smo opisali merilne metode, ki smo jih uporabili za merjenje površin brusov in obdelovancev



Sl. 7. Normalizirana avtokorelacijska funkcija površine



Sl. 8. Funkcija spektra moči površine naostrenega brusa (TEST 36)



Sl. 9. Funkcija zglajenega spektra moči površine naostrenega brusa (TEST 36)

$$\sigma^2 = 1,65 \cdot 10^{-3} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$N = 1500$$

$$L = 200$$

$$\Delta t_b = 0,2 \text{ [mm]}$$

$$\tau_{max} = 4 \text{ [mm]}$$

Vertikalna povečava površine 200 : 1

po procesu notranjega brušenja in med njim. Za njihovo vrednotenje smo uporabili programe, ki izračunavajo karakteristične funkcije za opis naključnih procesov. Upamo, da nam je z opisom organizacije izračunavanja uspelo prikazati metode dela, ki se lahko uporabljajo na vseh področjih merjenja fizikalnih veličin.

Primer vrednotenja površine naostrenega brusa kot naključnega procesa navajamo na sliki 7, 8 in 9, kjer so prikazani normalizirana avtokorelacijska funkcija, spekter moči in zglajeni spekter moči za površino. Pri tem smo imeli število odbirkov  $N = 1500$ , korelacijsko dolžino  $L = 200$ , razdaljo med odbirki  $\Delta t_b = 0,2 \text{ mm}$  in  $\tau_{max} = 4 \text{ mm}$  pri dvestokratni navpični povečavi površine.

### LITERATURA

- [1] Peklenik, J.: Contribution to the Correlation Theory for the Grinding Process, Trans. ASME, vol. 86, s. 97, 1964.
- [2] Peklenik, J.: Untersuchung zur Korrelations-theorie des Schleifvorganges, Strojniški vestnik, št. 4/5, str. 1—10, 1965.
- [3] Marek, T.: Merjenje in analiza hrapavosti, diplomsko delo, 1971.
- [4] Justin, B.: Programi, Knjižnica Fakultete za strojništvo.
- [5] Tomšič, M.: Programi, Knjižnica Fakultete za strojništvo.

Avtorjev naslov:

Doc. dr. mag. ing. Franc Roethel,  
Fakulteta za strojništvo  
Univerze v Ljubljani.