

UDK 621.9—52:658.51:658.56

## Tehnična in proizvodna kibernetika

Osnovni znanstveni področji v strojništvu

JANEZ PEKLENIK

### NAMESTO UVODA

Pred štiridesetimi leti je ameriški matematik Norbert Wiener v znamenitem delu *The Control and Communication in the Animal and the Machine* utemeljil novo znanstveno panogo *kibernetiko* [1].

V istem obdobju je Claude Shannon raziskal in objavil osnovne zakonitosti oblikovanja in prenosa informacij, ki so prispevale k razumevanju informacijskih procesov v živih in neživih sistemih [2].

Tretji pomembni prispevek k razvoju je digitalni računalnik, katerega načela je v štiridesetih letih utemeljil von Neuman [3].

S temi osnovnimi deli so bile podane osnove za razvoj vrste tehniških, bioloških, socioloških in drugih panog, novih izdelkov in seveda sistemov od energetskih, transportnih, telekomunikacijskih, procesnih, izdelavnih do ekoloških, ekonomskih, bioloških in drugih.

Za boljše razumevanje pomena kibernetike za razvoj strojniških znanosti se dotaknimo kratko zgodovinskega razvoja in uporabe načel krmiljenja v izdelavnih in značilnih tehničnih sistemih za strojništvo.

V drugi polovici osemnajstega stoletja se je pri razvoju Wattovega parnega stroja pokazalo, da brez primerne krmilnika vrtilne hitrosti ne bo šlo. To je bil povod za razvoj prvega proporcionalnega regulatorja vrtilne hitrosti, ki so ga začeli uporabljati v industriji in je pomembno prispeval k uporabi parnih strojev za najrazličnejše namene.

V letu 1868 je J. C. Maxwell objavil prvo teoretično delo *On Governors* [4] in analiziral krmilni sistem za teleskop. Na podlagi teh raziskav so bili razviti regulatorji po integralnem principu, ki so omogočali natančnejše krmiljenje, kar je bilo posebno pomembno pri gradnji agregatov za pridobivanje električne energije. Kljub napredku so se pojavljale težave pri krmiljenju parametrov, pomembnih za kakovostno upravljanje sistemov.

Pospešen razvoj krmilne tehnike je sledil v obdobju med letom 1900 in začetkom druge svetovne vojne. Značilni za to obdobje so dosežki na področjih velikih sistemov za pridobivanje in prenos električne energije, za letalske, telekomunikacijske in kemične industrije ter za elektroniko.

Obsežnost tehničnih sistemov je zahtevala temeljitejšo in globljo teoretično obdelavo krmilne problematike. Tako je bil M. Tolle [5] prvi, ki je v delu *Regelung der Kraftmaschinen* v letu 1921 razvil primerne metode za analitično obravnavo t. i. servosistemov. Sledila je vrsta pomembnih del, ki so prispevala k razvoju teoretičnih orodij za analizo in sintezo krmilnih sistemov. Ta so našla svojo potrditev predvsem pri oboroževanju v drugi svetovni vojni.

Posplošitev konceptov v krmilni tehniki z vključitvijo informacijske tehnologije, ki jo je utemeljil Norbert Wiener (in poimenoval kibernetika), je pomenila odločujoč prodor na nova področja, s čimer so bile ustvarjene osnove za drugo industrijsko revolucijo.

Z razvojem digitalnega računalnika, ki je v sedemdesetih letih dosegel najmanjše možne dimenzije z razvojem mikroprocesorja, dramatičnim padanjem njegove cene, z izrednim povečanjem zanesljivosti računalnika in drugimi razlogi se je začelo razvijati digitalno krmiljenje. V krmilniku z računalniškim vodenjem je bil del fiksne logike nadomeščen z logiko programske opreme. To omogoča veliko prilagodljivost krmilnih sistemov za vrsto nalog.

V zadnjih dvajsetih letih je bilo objavljenih veliko znanstvenih del, ki obravnavajo teorijo prostorskih stanj pri projektiranju krmilnih sistemov, Ljapunovo metodo optimalnega krmiljenja in matematično teorijo kibernetskih sistemov ter dinamično optimizacijo. S temi dosežki je bilo mogoče razviti kompleksne krmilne sisteme v jedrskih centralah prilagodljivih obdelovalnih in delovnih sistemih, robotiki, vesoljskem transportu itd.

### RAZVOJ KIBERNETIKE NA FAKULTETI ZA STROJNIŠTVO

Zaradi velikega pomena za naš tehnološki in tehnični razvoj je bil v letu 1969 uveden na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani v študij strojništva tudi predmet »Tehnična kibernetika«, ki ga je zasnoval in prevzel predavanja podpisani. Ustanovitev katedre za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo ter uvedba modulnega študija v letu 1972 so omogočili, da se je tehnična kibernetika kot panoga močno okrepila in so se uvedle v študij strojništva še dopolnilne panoge: konstruiranje krmilnih in merilnih sistemov, teorija digitalnih avtomatov, eksperimentalne metode, konstruiranje z računalnikom, avtomatizacija obdelovalnih sistemov, avtomatizacija procesnih in energetskih sistemov, proizvodni sistemi, statistična kontrola kakovosti in zanesljivosti, operacijske raziskave, metode optimiranja in cenena avtomatizacija. S tem so bila pokrita najpomembnejša področja teorije in uporabe, ki so povezana s tehnično kibernetiko in pomenijo v študijskem procesu zaokroženo celoto. V teh letih se je razvilo novo znanstveno področje proizvodna kibernetika [6].

V teh letih je bila ustanovljena tudi podiplomska šola za avtomatizacijo in proizvodno kibernetiko, ki je vzgojila vrsto raziskovalcev in razvijalcev za potrebe združenega dela.

Za raziskovalno delo je bil hkrati ustanovljen tudi Laboratorij za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo (LAKOS) z enotami za krmilne in merilne sisteme, informacijsko enoto z mikrofilmom, računalniško enoto, laboratorijem z numerično krmiljenimi stroji ter konstrukcijo z namenom, da ustvari pogoje za znanstveno-raziskovalno in razvojno delo ter dopolnilno izobraževanje visokošolskega in tehničnega kadra na področju avtomatizacije obdelovalnih in delovnih sistemov in proizvodne kibernetike. V okviru raziskovalnega projekta *Obdelovalni sistemi in proizvodna kibernetika* opravljajo sodelavci LAKOS-a na FS naslednje:

- razvojno in raziskovalno delo na področju kibernetizacije dela, avtomatizacije proizvodnje, informacijskih sistemov ter drugih sorodnih področjih,

- razvijanje in izdelovanje računalniško krmiljenih strojev ter merilnih in montažnih sistemov in drugih naprav,

- dopolnilno izobraževanje visokošolskega kadra na omenjenih področjih ter dopolnilno izobraževanje in usposabljanje tehničnih kadrov iz industrije, zlasti na področju tehnologije z numeričnimi krmilji in programiranja, konstruiranja in načrtovanja z računalnikom,

- prenos znanja in tehnologije v kovinsko in elektro industrijo.

Raziskovalne skupine sestavljajo priznani raziskovalci, raziskovalni asistenti, strokovni sodelavci, študenti iz dopolnilnega izobraževanja ter razvijalci in raziskovalci iz industrije, odvisno pač od področja raziskovalnega dela. Pri tem je pomembno, da se ustvarja tesno sodelovanje z drugimi fakultetnimi laboratoriji in zlasti z industrijo na različnih ravneh, odvisno od obravnavane problematike oziroma raziskovalne naloge.

Pomembnejše raziskovalne naloge, ki potekajo v tem okviru, so:

- izgradnja banke konstrukcijskih podatkov za računalniško podprto konstruiranje (CAD\*),

- izgradnja banke tehnoloških podatkov za struženje, vrtanje, freziranje in brušenje in druge tehnološke procese za računalniško podprto krmiljenje obdelovalnih strojev (CAM\*\*) in računalniško podprto načrtovanje procesov (CAPP\*\*\*),

- raziskave obdelovalnosti domačih materialov s struženjem, brušenjem in elektroerozijo,

- raziskave integritete površin obdelovancev in orodij,

- uvajanje skupinske tehnologije in klasifikacijskih sistemov z mikrofilmom v industrijo,

- avtomatizacija skladišč in transporta za surovce in obdelovance,

- razvoj računalniško krmiljenih merilnih strojev z laserjem,

- uvajanje tehnologije numeričnega krmiljenja v industrijo,

- razvoj sestavljene računalniško krmiljene obdelovalne celice,

- izgradnja integriranega računalniškega programa za računalniško podprto konstruiranje, načrtovanje procesov in krmiljenja obdelovalnih strojev,

- razvoj modularnih enot obdelovalnih in delovnih strojev z laserskimi merilnimi sistemi,

- razvoj mikroprocesorskega krmilnika za obdelovalne stroje in naprave,

- avtomatizacija strege pri obdelavi itd.

Poudariti velja, da vse te raziskovalne naloge in dejavnosti Lakosa potekajo ob polni podpori združenega dela in Raziskovalne skupnosti Slovenije, kajti večino rezultatov dela je mogoče neposredno uporabiti v organizacijah združenega dela.

V nadaljevanju predstavljamo nekatere podrobnosti iz raziskovalne in razvojne dejavnosti LAKOSA.

#### BANKA KONSTRUKCIJSKIH IN TEHNOLOŠKIH PODATKOV

V okviru izgradnje informacijskega sistema za konstrukcijo in tehnologijo ustvarjamo enovito banko podatkov za računalniško podprto konstruiranje, računalniško podprto načrtovanje tehnoloških procesov in računalniško podprto izdelavo krmilnih trakov za numerično krmiljenje strojev, robotov, transportnih naprav, merilnih sistemov itd.

Baza konstrukcijskih podatkov je v pripravi in obsega:

- konstrukcijske materiale in njihove lastnosti,

- standardne komponente,

- spekter komponent, razporejen po izdelavnih in skupinsko tehnoloških vidikih,

- program za izračun elementov itd.

#### BAZA TEHNOLOŠKIH PODATKOV

Za izdelavo tehnološke dokumentacije za načrtovanje tehnoloških procesov in računalniško izdelavo luknjanih trakov za numerično krmiljene obdelovalne stroje je potrebna vrsta preverjenih in organiziranih tehnoloških podatkov. Ker njihovo pridobivanje večemo na poskusne raziskave, ki so izredno drage, organizira LAKOS skupno banko tehnoloških podatkov za obdelovalne procese, kakor so:

- struženje,

- freziranje,

- vrtanje,

- brušenje,

- elektroerozija.

LAKOS, ki je član evropske banke tehnoloških podatkov »INFOS«, lahko dobi številne podatke o obdelovalnosti najrazličnejših materialov, ki jih člani LAKOSA lahko s pridom uporabljajo.

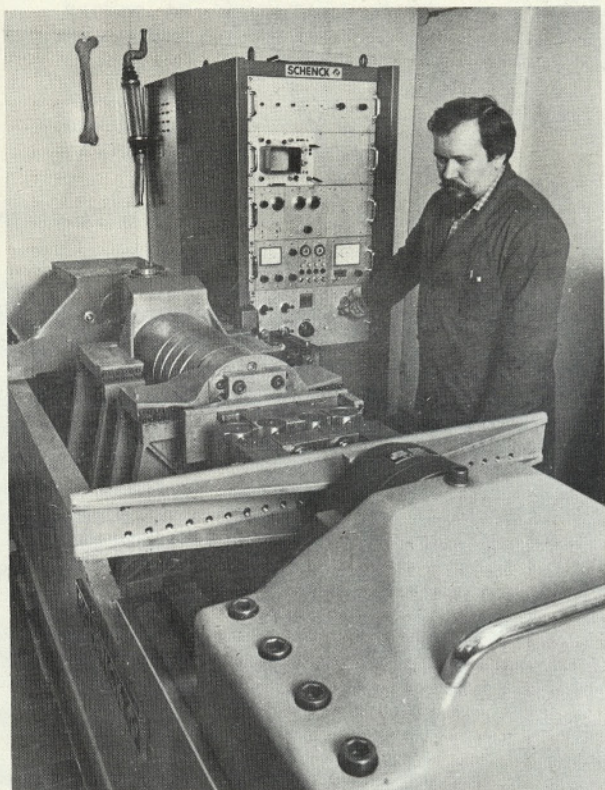
\* CAD — Computer Aided Design.

\*\* CAM — Computer Aided Manufacturing.

\*\*\* CAPP — Computer Aided Process Planning.

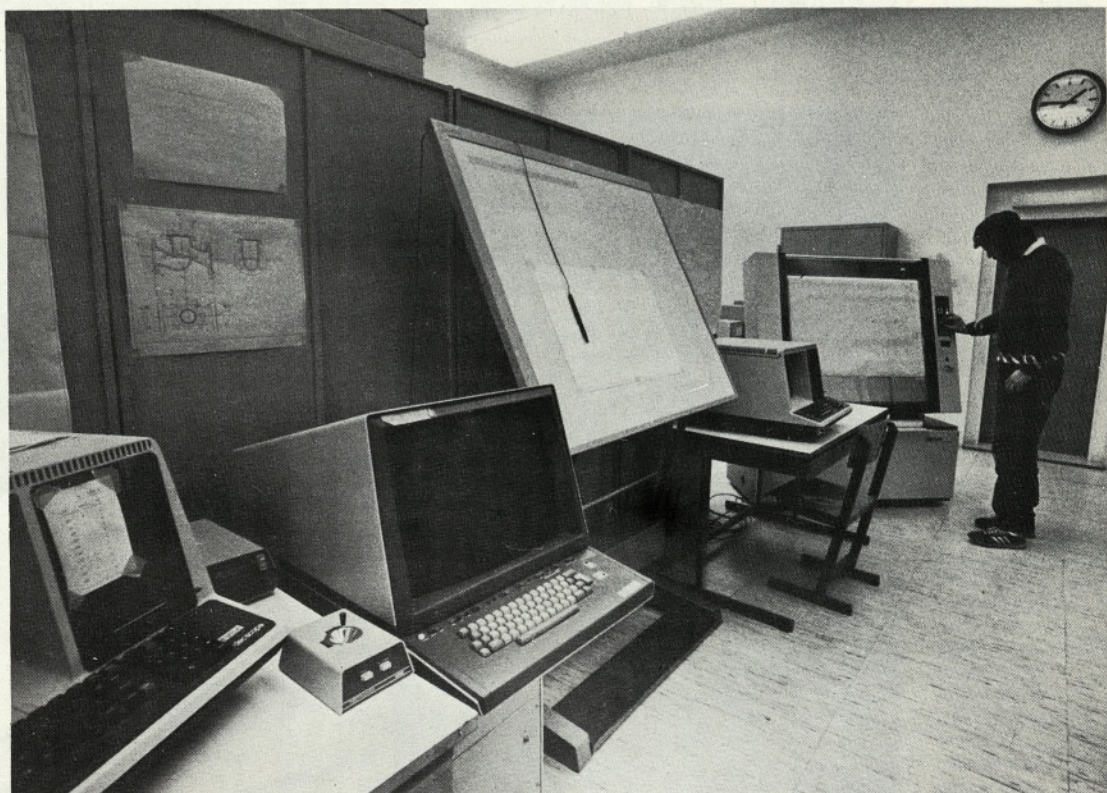
65 — 40 let

# FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO, LJUBLJANA



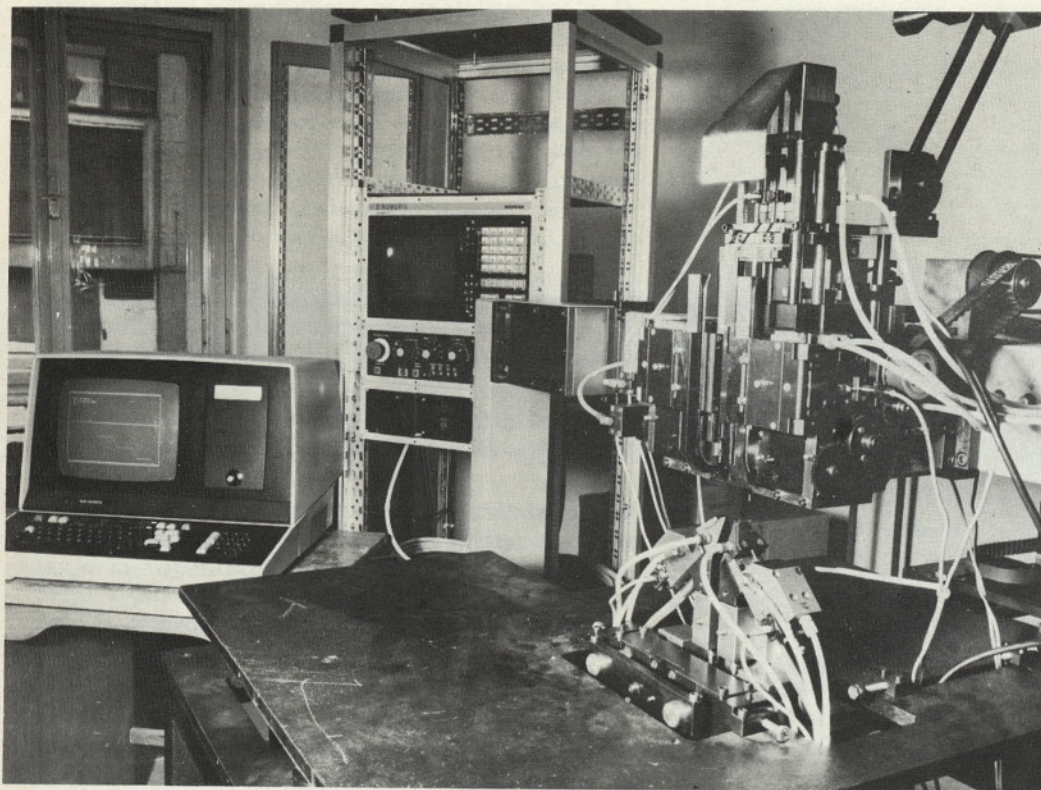
*Preizkuševališče obratovalne trdnosti v laboratoriju PRE  
za konstruiranje in delovne stroje*

*Grafična postaja za računalniško podprto konstruiranje v PRE  
za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško  
tehnologijo*

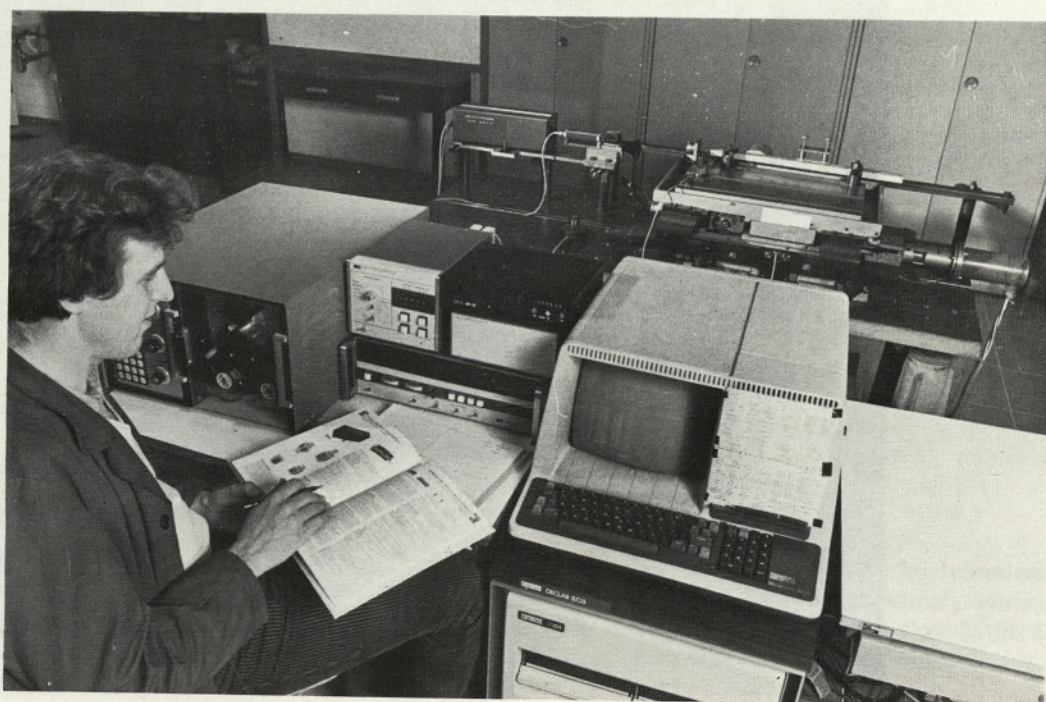


65 — 40 let

# FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO, LJUBLJANA



*Računalniško krmiljeni inserter za vstavljanje elektronskih komponent, razvit v laboratorijih PRE za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo*



*Laserski merilni sistem za meritve natančnosti CNC obdelovalnih sistemov v laboratoriju PRE za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo*

Prek računalniške mreže pa so ti podatki dostopni tudi delovnim organizacijam.

Poleg omenjenih podatkov so v banki tudi drugi pomembni podatki za CAPP in CAM, npr.:

- kartice za obdelovalne stroje in naprave s klasifikacijskim sistemom,
- kartice za orodje s klasifikacijskim sistemom,
- klasifikacijo vpenjalnih naprav,
- merilne pripomočke in stroje
- in druge pomembne datoteke.

## MIKROFILMANJE TEHNIČNE DOKUMENTACIJE

V mikrofilmski enoti, ki ima v okviru izgradnje informacijskega sistema za geometrijske informacije pomembno vlogo, opravljamo naslednje mikrofilmske storitve (sl. 1):

1. Snemamo konstrukcijske načrte in drugo tehnično dokumentacijo formatov A4 do A0 in podaljšanih na mikrofilmski trak s širino 35 mm do 600 posnetkov navit v svitek. Snemamo s koračno snemalno kamero SMA-0, ki ima standardne faktorje pomanjšave od 7,4 do 29,7.

2. Razvijamo 35 mm filme v razvijalniku COPEX FP 400.

3. Montiramo MF posnetke v aperturne kartice, imenovane MF originalne kartice v napravi EICHNER 2001.

4. Podvajamo MF posnetke iz originalnih na kalvar MF kartice v CAPS napravi za podvajanje.

5. Razmnožujemo posnetke iz MF trakov, originalnih ali uporabniških MF kartic na papir v velikostih A4, A3 in A2 z možnostjo brezstopenjske povečave od 7 do 17-krat v razmnoževalniku CAPS A2.

6. Svetujemo in dajemo strokovna navodila pri organiziranju in uvajanju mikrofilma v delovnih organizacijah za pasivno ali aktivno obliko uporabe MF za področje tehnične dokumentacije, z namenom, da se izkoristijo prednosti, ki jih ponuja mikrofilm, kakor npr.:

- zavarovanje načrtov oz. tehničnih dokumentov pred uničenjem (organizacija varnostnega MF arhiva),
- hitrejši dostop h geometrijskim in tehnološkim informacijam, ki jih imajo mikrofilmanski dokumenti (organizacija centralnega in delovnega MF arhiva ter povezava z računalnikom),
- povečanje produktivnosti pri konstruiranju in tehnološki pripravi dela z uporabo znanih in podobnih rešitev v novih projektih,
- standardiziranje geometrijskih in funkcijskih elementov,

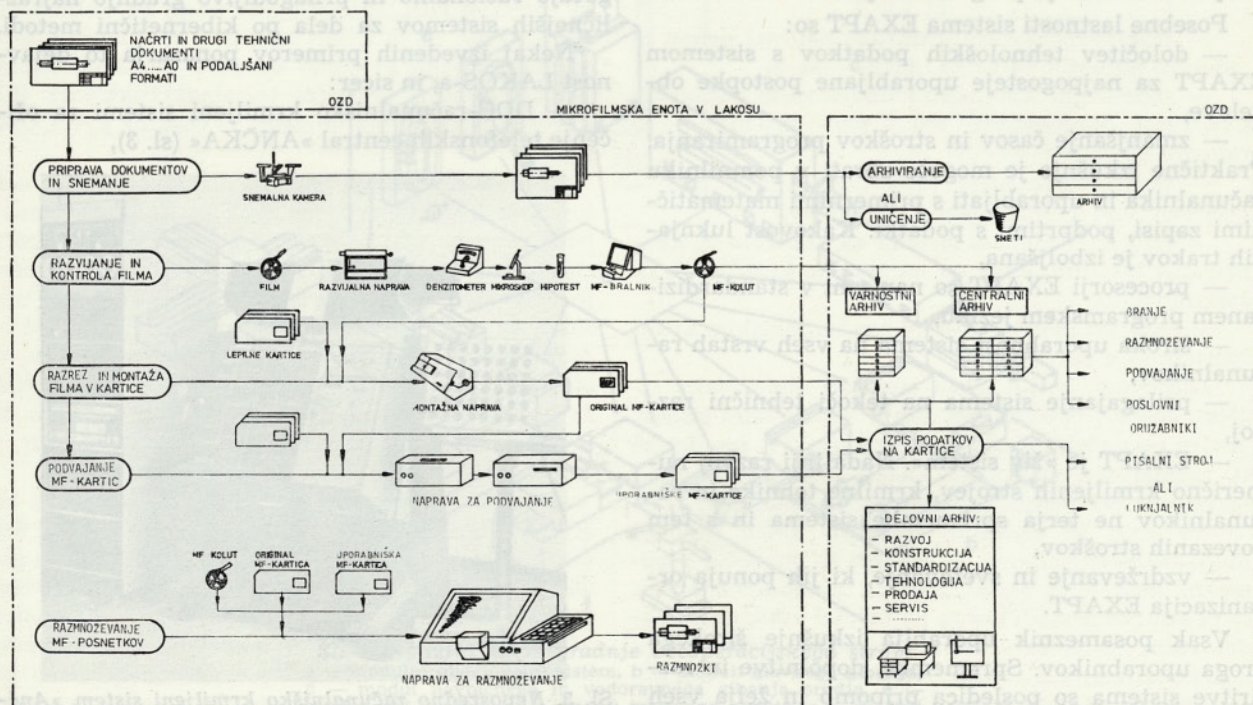
— uvajanje načel skupinske tehnologije ob podpori klasifikacijskih sistemov, ki smo jih razvili na visoki in podiplomski šoli,

- zmanjšanje porabe dragocenega papirja,
- sodobnejše komuniciranje s poslovnimi partnerji itd.

Svoje delo opravljamo zanesljivo, kakovostno in v roku ter se ravnamo po pravilniku o poslovni tajnosti dokumentov.

## UVAJANJE TEHNOLOGIJE Z NUMERICNIMI KRMILJI V INDUSTRIJO

Za uresničitev naloge v okviru raziskovalnega in izobraževalnega programa je LAKOS pred leti osnoval in opremil center, ki ima poleg CNC več operacijskega stroja CINCINNATI 10 He, CNC



Sl. 1. Shema poteka mikrofilmanja tehnične dokumentacije

stružnice INDEX Gu 1000 NC, naprave za prednavljanje orodij, laserskega merilnega sistema in drugih enot za nemoteno delo numerično krmiljenih strojev tudi računalnik PDP 11/70 z bogato periferijo za računalniško programiranje strojev ter grafično kontrolo vsebine programov.

Vzporedno z nabavo omenjene opreme je bilo nujno razmisliti o vrsti avtomatizirane izdelave in načinu kontrole luknjanih trakov. Na podlagi skupinske tehnologije je bila izdelana analiza tehnoloških postopkov za izdelavo komponent ter stopnje kompleksnosti površin na obdelovancih. Glede na ugotovitev, da več ko 80 % zahtevam sledi programski sistem EXAPT, se je LAKOS sporazumno s slovensko predelovalno industrijo odločil za sistem EXAPT ter začel z ustreznimi tečajji in seminarji, ki jih prireja tudi še danes. V prvi fazi je bilo potrebno pripraviti ustrezno gradivo v slovenskem jeziku. Prevedenih je bilo 18 različnih učbenikov in drugih publikacij EXAPT, ki se nanašajo tako na osnovni modularni sistem EXAPT za avtomatično programiranje geometrijskih oblik, kakor tudi za sisteme, ki vključujejo tudi avtomatično programiranje tehnološkega postopka pri struženju ter pri vrtanju in frezanju. Naslednje delo je bilo poslovenjenje vseh komentarjev in diagnostike programskega paketa EXAPT.

Modularno grajeni sistem EXAPT je prirejen za programiranje najpogosteje uporabljenih postopkov obdelave, kakor npr. vrtanje, struženje, frezanje, plamensko rezanje, izsekovanje in žična erozija.

Uporabnik lahko rešuje vse svoje programske naloge z enim samim sistemom s prosto izbiro stopenj avtomatizacije programiranja.

Posebne lastnosti sistema EXAPT so:

- določitev tehnoloških podatkov s sistemom EXAPT za najpogosteje uporabljane postopke obdelave,

- zmanjšanje časov in stroškov programiranja. Praktične izkušnje je mogoče zbrati v pomnilniku računalnika in uporabljati s primernimi matematičnimi zapisi, podprtimi s podatki. Kakovost luknjanih trakov je izboljšana,

- procesorji EXAPT so napisani v standardiziranem programskem jeziku,

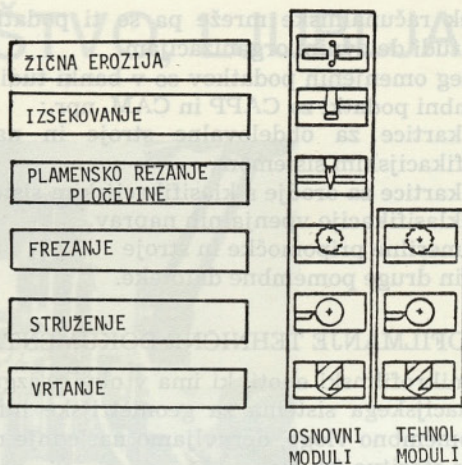
- široka uporabnost sistema na vseh vrstah računalnikov,

- prilagajanje sistema na tekoči tehnični razvoj,

- EXAPT je »živ sistem«. Nadaljnji razvoj numerično krmiljenih strojev, krmilne tehnike in računalnikov ne terja spremembe sistema in s tem povezanih stroškov,

- vzdrževanje in svetovanje, ki jih ponuja organizacija EXAPT.

Vsak posameznik uporablja izkušnje širokega kroga uporabnikov. Spremembe, dopolnitve in razširitve sistema so posledica pripomb in želja vseh uporabnikov EXAPT-a.



Sl. 2. Uporabnost posameznih sistemskih enot EXAPT

Slika 2 prikazuje uporabnost posameznih sistemskih enot EXAPT. Celotni sistem je modularno grajen. Uporabnik zato lahko izbira tako konfiguracijo sistema, ki mu pri reševanju programskih nalog najboljše ustreza.

### RAZVOJ RAČUNALNIŠKO KRMILJENIH OBDELOVALNIH, DELOVNIH IN DRUGIH SISTEMOV

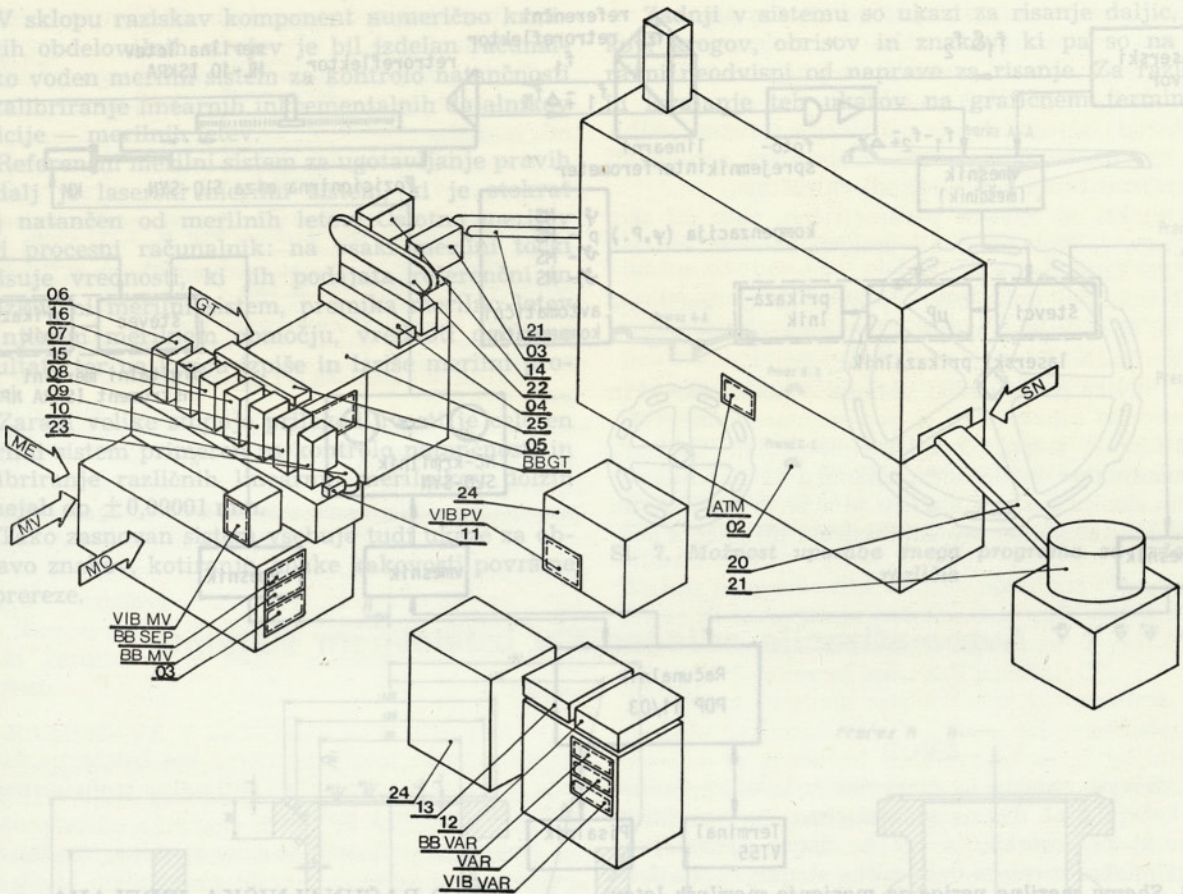
Za kibernetizacijo dela razvija LAKOS vrsto novih računalniško krmiljenih delovnih in obdelovalnih sistemov, ki omogočajo pomembno povečanje produktivnosti v DO in ustvarjajo nove izdelke visoke tehnologije. Mikroprocesorski krmilniki, modularna gradnja delovnih sistemov oz. mehanskih komponent, nove tehnologije njihove izdelave omogočajo racionalno in prilagodljivo gradnjo najrazličnejših sistemov za dela po kibernetični metodi.

Nekaj izvedenih primerov ponazarja to dejavnost LAKOS-a, in sicer:

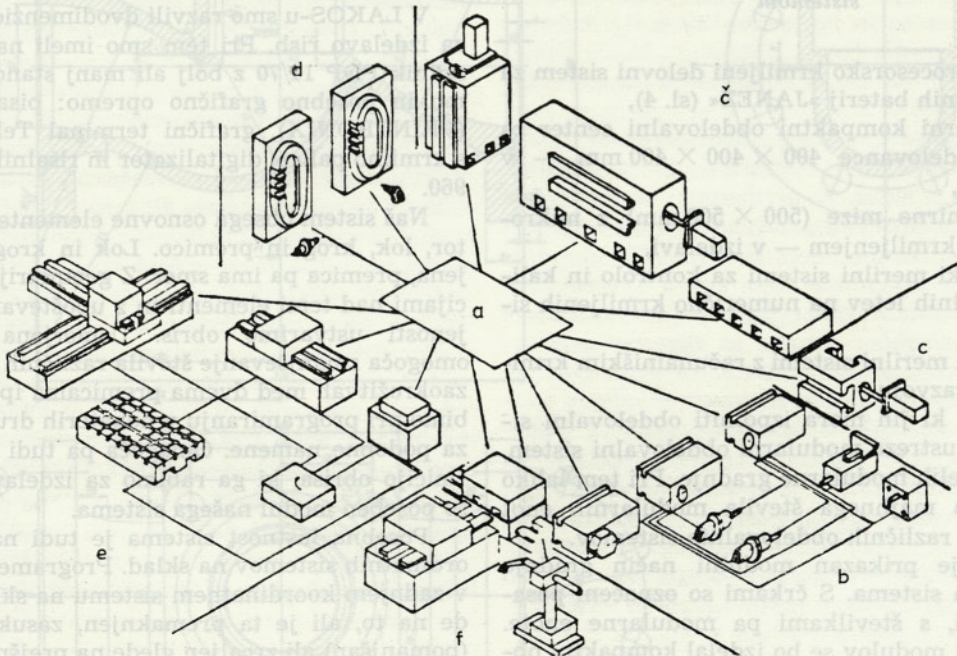
- DDC-računalniško krmiljeni sistemi za ožičenje telefonskih central »ANČKA« (sl. 3),



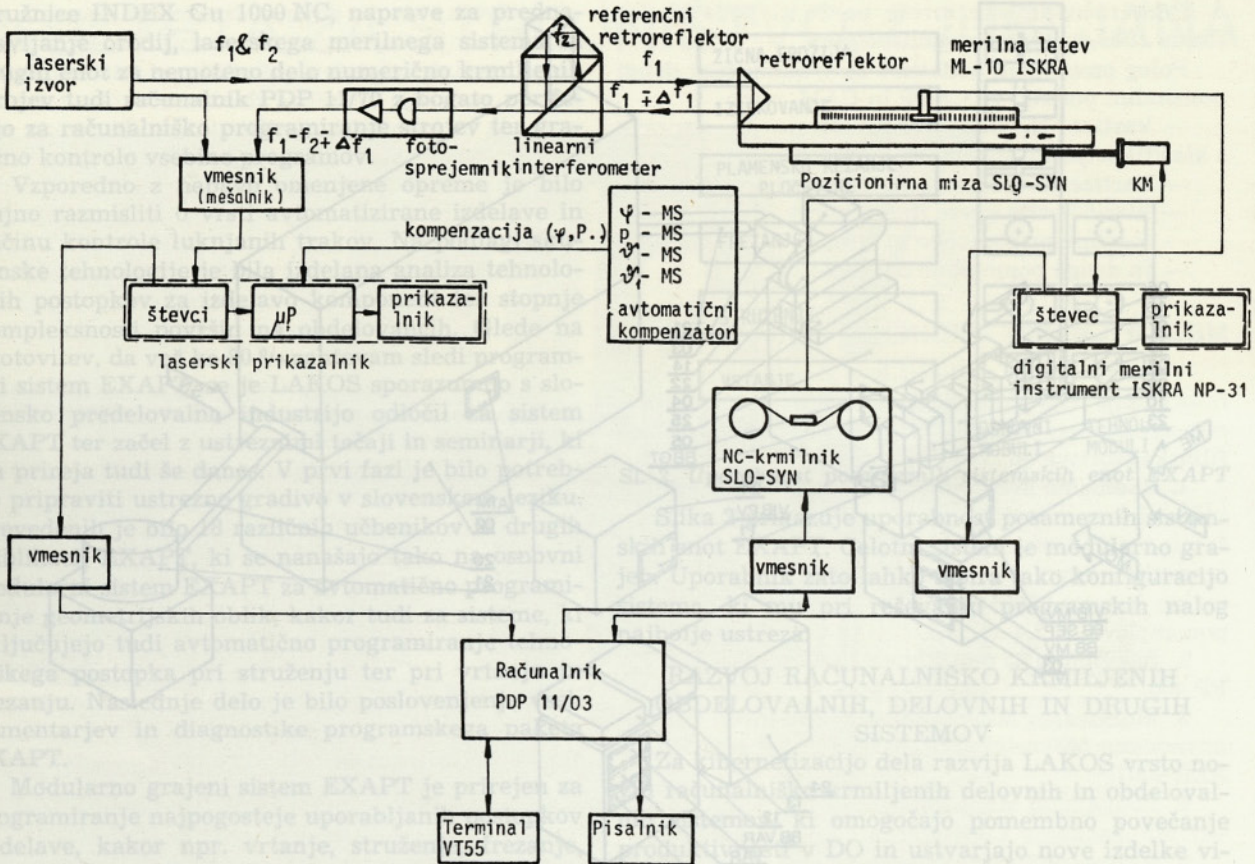
Sl. 3. Neposredno računalniško krmiljeni sistem »Ančka« za ožičenje telefonskih central



Sl. 4. Mikroprocesorsko krmiljeni delovni sistem »Janez« za izdelavo alkalnih baterij



Sl. 5. Modulni način gradnje večoperacijskega stroja  
 a — moduli obdelovalni sistem, b — moduli glavnega gibanja,  
 c — modul navpičnega in vodoravnega gibanja orodja, č —  
 stacionarni moduli, d — moduli magazina orodja, e — moduli  
 vodoravnega gibanja delovnega predmeta, f — moduli menjave  
 delovnega predmeta



Sl. 6. Shema merilne verige za merjenje merilnih letev za numerično krmiljene stroje z laserskim merilnim sistemom

- mikroprocesorsko krmiljeni delovni sistem za izdelavo alkalnih baterij »JANEZ« (sl. 4),
- modularni kompaktni obdelovalni center za kvadraste obdelovance  $400 \times 400 \times 400$  mm — v razvoju (sl. 5),
- pozicionirne mize ( $500 \times 500$  mm) z mikroprocesorskim krmiljenjem — v izdelavi,
- dolžinski merilni sistemi za kontrolo in kalibriranje merilnih letev na numerično krmiljenih sistemih (sl. 6),
- laserski merilni sistemi z računalniškim krmiljenjem — v razvoju.

Zahtevam, ki jih mora izpolniti obdelovalni sistem, najbolj ustreza modularni obdelovalni sistem, grajen po načelih modularne gradnje. Pri tem lahko iz razmeroma majhnega števila modularnih enot sestavimo več različnih obdelovalnih sistemov.

Na sliki je prikazan modularni način gradnje obdelovalnega sistema. S črkami so označeni posamezni moduli, s številkami pa modularne enote. Iz posameznih modulov se bo izdelal kompaktni obdelovalni center za večstrano obdelavo obdelovanca z dimenzijami  $400 \times 400 \times 400$  mm. V prvi fazi bomo izdelali in nato testirali posamezne module. Sedaj izdelujemo modul glavnega gibanja.

## CAD-RAČUNALNIŠKA IZDELAVA DELAVNIŠKIH RISB

V LAKOS-u smo razvili dvodimenzionalni sistem za izdelavo risb. Pri tem smo imeli na voljo računalnik PDP 11/70 z bolj ali manj standardno opremo in posebno grafično opremo: pisalnik/risalnik (PRINTRONIX), grafični terminal Tektronix 4015 s krmilno palico, digitalizator in risalnik CALCOMP 960.

Naš sistem obsega osnovne elemente: točko, vektor, lok, krog in premico. Lok in krog sta usmerjena, premica pa ima smer. Z geometrijskimi operacijami nad temi elementi in z upoštevanjem usmerjenosti ustvarimo obris. Usmerjena geometrija omogoča zmanjševanje števila različnih možnosti pri zaokrožitvah med dvema premicama ipd., ki jih dobimo pri programiranju v nekaterih drugih sistemih za podobne namene. Omogoča pa tudi enolično definicijo obrisa, ki ga rabimo za izdelavo šrafur, te so poseben modul našega sistema.

Posebna lastnost sistema je tudi nalaganje koordinatnih sistemov na sklad. Programer vedno dela v zadnjem koordinatnem sistemu na skladu, ne glede na to, ali je ta premaknjen, zasukan, povečan (pomanjšan) ali zrcaljen glede na prejšnjega. Sistem pa vedno računa v osnovnem koordinatnem sistemu, ki ga postavimo ob začetku risbe. Te lastnosti povečujejo udobje programiranja in zmanjšujejo možnost za napake.



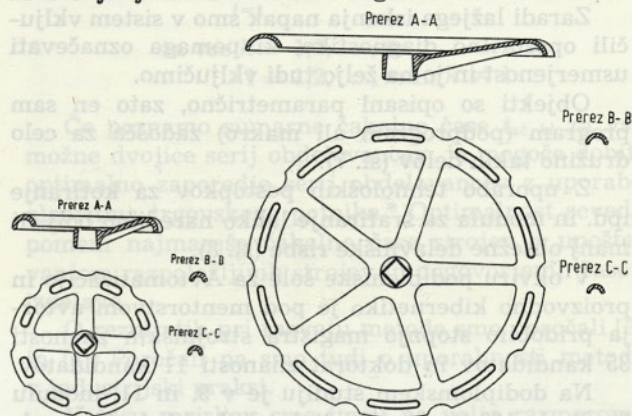
V sklopu raziskav komponent numerično krmljenih obdelovalnih strojev je bil izdelan računalniško voden merilni sistem za kontrolo natančnosti in kalibriranje linearnih inkrementalnih dajalnikov pozicije — merilnih letev.

Referenčni merilni sistem za ugotavljanje pravih razdalj je laserski merilni sistem, ki je stokrat bolj natančen od merilnih letev. Celotno meritev vodi procesni računalnik: na vsaki merilni točki zapisuje vrednosti, ki jih podajata referenčni in preizkušani merilni sistem, premika merilno letev po njenem merilnem območju, vrednoti dobljene rezultate ter na koncu izpiše in izriše merilni protokol.

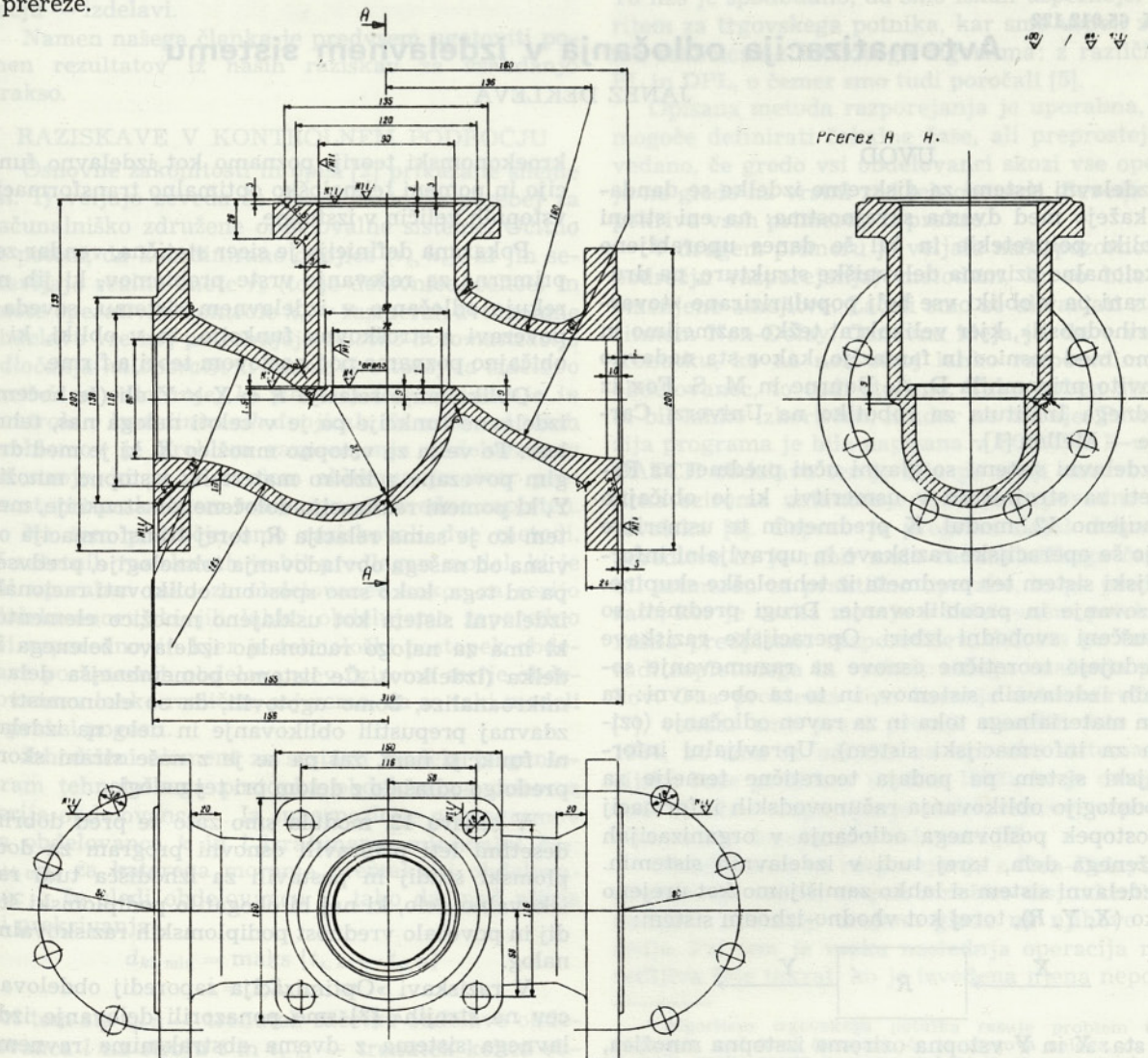
Zaradi velike stopnje prilagodljivosti je celoten merilni sistem primeren za kontrolo natančnosti in kalibriranje različnih linearnih merilnikov dolžin v mejah do  $\pm 0,00001$  mm.

Tako zasnovan sistem vsebuje tudi ukaze za obdelavo znakov, kotiranje, znake kakovosti površine in prezeze.

Zadnji v sistemu so ukazi za risanje daljic, lokov, krogov, obrisov in znakov, ki pa so na tej ravni neodvisni od naprave za risanje. Za razlago in izvajanje teh ukazov na grafičnem terminalu



Sl. 7. Možnost uporabe enega programa za izdelavo različic



Sl. 8. Okrov pokončnega ventila

imamo poseben program, ki deluje simultano z osnovnim geometrijskim, tako da vsako risbo tudi sproti izriše. Hkrati sestavlja ta program tudi neke vrste dadoteko za izris na risalnik.

Zaradi lažjega iskanja napak smo v sistem vključili opozorilno diagnostiko, ki pomaga označevati usmerjenost in jo na željo tudi vključimo.

Objekti so opisani parametrično, zato en sam program (podprogram ali makro) zadošča za celo družino takih delov (sl. 7).

Z uporabo tehnoloških postopkov za kotiranje ipd. in modula za šrafiranje lahko naredimo bolj ali manj obsežne delavniške risbe (sl. 8).

V okviru podiplomske šole za Avtomatizacijo in proizvodno kibernetiko je pod mentorstvom avtorja pridobilo stopnjo magistra strojniških znanosti 35 kandidatov in doktorat znanosti 11 kandidatov.

Na dodiplomskem študiju je v 9. in 11. modulu študiralo 139 študentov, diplomiralo jih je 48 s pod-

ročja krmiljenja, obdelovalnih sistemov in računalniške tehnologije.

Bibliografija znanstvenih del obsega prek 150 naslovov objav v uglednih tujih in domačih tehničnih revijah.

#### LITERATURA

[1] Wiener, N.: *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, The M. I. T. Press, Cambridge, Mass. 1948.

[2] Shannon, C. E.: *The Mathematical Theory of Communication*, Bell System J. Vol. 27, 1948.

[3] Von Neumann, J.: *The Computer and the Brain*, Yale University Press, New Haven, Conn. 1958.

[4] Maxwell, J. C.: *On Governors*, Proc. Roy. Soc. 1868, pp. 270—283.

[5] Tolle, M.: *Regelung der Kraftmaschinen*, Springer Verlag Berlin, 1921.

[6] Peklenik, J.: *Proizvodna kibernetika. Njen vpliv na tehnični in tehnološki razvoj in produktivnost*. Zbornik del 10. jugoslovskega posvetovanja o proizvodnem strojništvu, Beograd 1975, str. 1—53.

Avtorjev naslov: akademik prof. dr. inž. habil. Janez Peklenik  
Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

UDK 65.012.122

## Avtomatizacija odločanja v izdelavnem sistemu

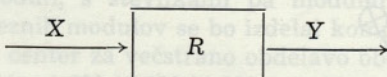
JANEZ DEKLEVA

### UVOD

Izdelavni sistemi za diskretne izdelke se dandanes kažejo med dvema skrajnostma: na eni strani v obliki polpretekle in žal še danes uporabljene funkcionalne oziroma delavniške strukture, na drugi strani pa v obliki vse bolj popularizirane »tovarne prihodnosti«, kjer velikokrat težko razmejimo in ločimo med resnico in fantazijo, kakor sta nedavno duhovito pripomnila D. A. Bourne in M. S. Fox iz uglednega Inštituta za robotiko na Univerzi Carnegie — Mellon [1].

Izdelavni sistemi so glavni učni predmet na Fakulteti za strojništvo v usmeritvi, ki jo običajno imenujemo 12. modul. K predmetom te usmeritve sodijo še operacijske raziskave in upravljalni informacijski sistem ter predmeta iz tehnološke skupine: odrezovanje in preoblikovanje. Drugi predmeti so prepuščeni svobodni izbiri. Operacijske raziskave posredujejo teoretične osnove za razumevanje sodobnih izdelavnih sistemov, in to za obe ravni: za raven materialnega toka in za raven odločanja (oziroma za informacijski sistem). Upravljalni informacijski sistem pa podaja teoretične temelje za metodologijo oblikovanja računovodskih informacij za postopek poslovnega odločanja v organizacijah združenega dela, torej tudi v izdelavnih sistemih.

Izdelavni sistem si lahko zamišljamo kot urejeno trojko  $(X, Y, R)$ , torej kot vhodno-izhodni sistem:



kjer sta:  $X$  in  $Y$  vstopna oziroma izstopna množica,  $R$  pa je neprazna relacija  $R \subset X \times Y$ , ki jo v mi-

kroekonomski teoriji poznamo kot izdelavno funkcijo in pomeni tehnološko optimalno transformacijo vstopnih veličin v izstopne.

Pokazana definicija je sicer statična, vendar zelo primerna za reševanje vrste problemov, ki jih narekuje odločanje v izdelavnem sistemu, seveda v povezavi s stroškovno funkcijo, in v obliki, ki jo običajno poznamo pod naslovom teorija firme.

Oblikovanje relacije  $R \subset X \times Y$  ali (če hočemo) izdelavne funkcije pa je v celoti naloga nas, tehnikov. To velja za vstopno množico  $X$ , ki je med drugim povezana z izbiro materiala; izstopno množico  $Y$ , ki pomeni realizacijo določene konstrukcije, medtem ko je sama relacija  $R$ , torej transformacija odvisna od našega obvladovanja tehnologije, predvsem pa od tega, kako smo sposobni oblikovati racionalni izdelavni sistem kot usklajeno množico elementov, ki ima za nalogo racionalno izdelavo želenega izdelka (izdelkov). Če listamo pomembnejša dela iz mikroanalize, bomo ugotovili, da so ekonomisti že zdavnaj prepustili oblikovanje in delo na izdelavni funkciji nam, žal pa se je z naše strani skoraj predolgo odlašalo z delom pri tej nalogi.

V okviru 12. modula smo zato že pred dobrimi desetimi leti pripravili osnovni program za dodiplomski študij in postavili za izhodišča tudi raziskovalno delo, ki naj bi obogatilo podiplomski študij in povečalo vrednost podiplomskih raziskovalnih nalog.

V raziskavi »Optimizacija zaporedij obdelavcev na strojih« [2] smo ponazorili delovanje izdelavnega sistema z dvema abstraktnima ravnema: kontrolnim področjem in realnim področjem.