

30 ГОДИНИ  
НАСТАВА ПО МАШИНСТВО  
ВО СР МАКЕДОНИЈА

22 СОВЕТУВАЊЕ ЗА  
ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО  
НА ЈУГОСЛАВИЈА

# ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ

III

ФЛЕКСИБИЛНИ ПРОИЗВОДНИ СИСТЕМИ

Охрид, мај 1989

## СОДРЖИНА

В.Дуковски ФЛЕКСИБИЛНИ ПРОИЗВОДНИ СИСТЕМИ ( FMS ) ПРЕДИЗВИК НА ДЕНЕШНИЦАТА	1
V.R.Milačić CIM - STRATEGIJA ZA NOVU GENERACIJU FABRIKA	47
B.Milčić TVORNICA BUDUĆNOSTI	55
D.Zelenović, D.Šormaz POSTUPCI RAZVOJA EFEKTIVNIH PROIZVODNIH SISTEMA	63
T.Šurina NOVE TEHNOLOGIJE: PUT JUGOSLAVIJE U POSTINDUSTRIJSKO DRUŠTVO	73
Ž.Spasić, N. Tošković, G. Oligorijević CIM - TEHNOLOGIJE : STRATEŠKI KONCEPT RAZVOJNIH ORGANIZACIONIH JEDINICA NA PRIMERU JEDNE INDUSTRIJE	81
R.Drevenšek, M.Bučan, Lj.Vuletić, S.Nikolić PLANIRANJE I REALIZACIJA FLEKSIBILNIH OBRADNIH SISTEMA	89
D.Novaković, M.Zeljковић, J.Rekecki, R.Gatalo PODLOGE ZA RAZVOJ KONCEPCIJE MODULARNOG PROJEKTOVANJA NUMERIČKI UPRAVLJANIH FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA ZA OBRADU ROTACIONIH DELOVA	99
D.Noć, J.Kopać FLEKSIBILNE STREŽNE NAPRAVE V AVTOMATIZACIJI MONTAŽE	109
R.Gatalo, J.Hodolić AVTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA - DOSTIGNUĆA U RAZVOJU I KONCEPCIJA SOPSTVENIH ISTRAŽIVANJA ZA POTREBE STRUKTURA ZA OBRADU ROTACIONIH DELOVA	117
J.Hodolić INTEGRALNI PRILAZ POSTPROCESIRANJU UPRAVLJAČKIH INFORMACIJA U SISTEMU ZA AVTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH SISTEMA ZA OBRADU ROTACIONIH IZRADAKA	127

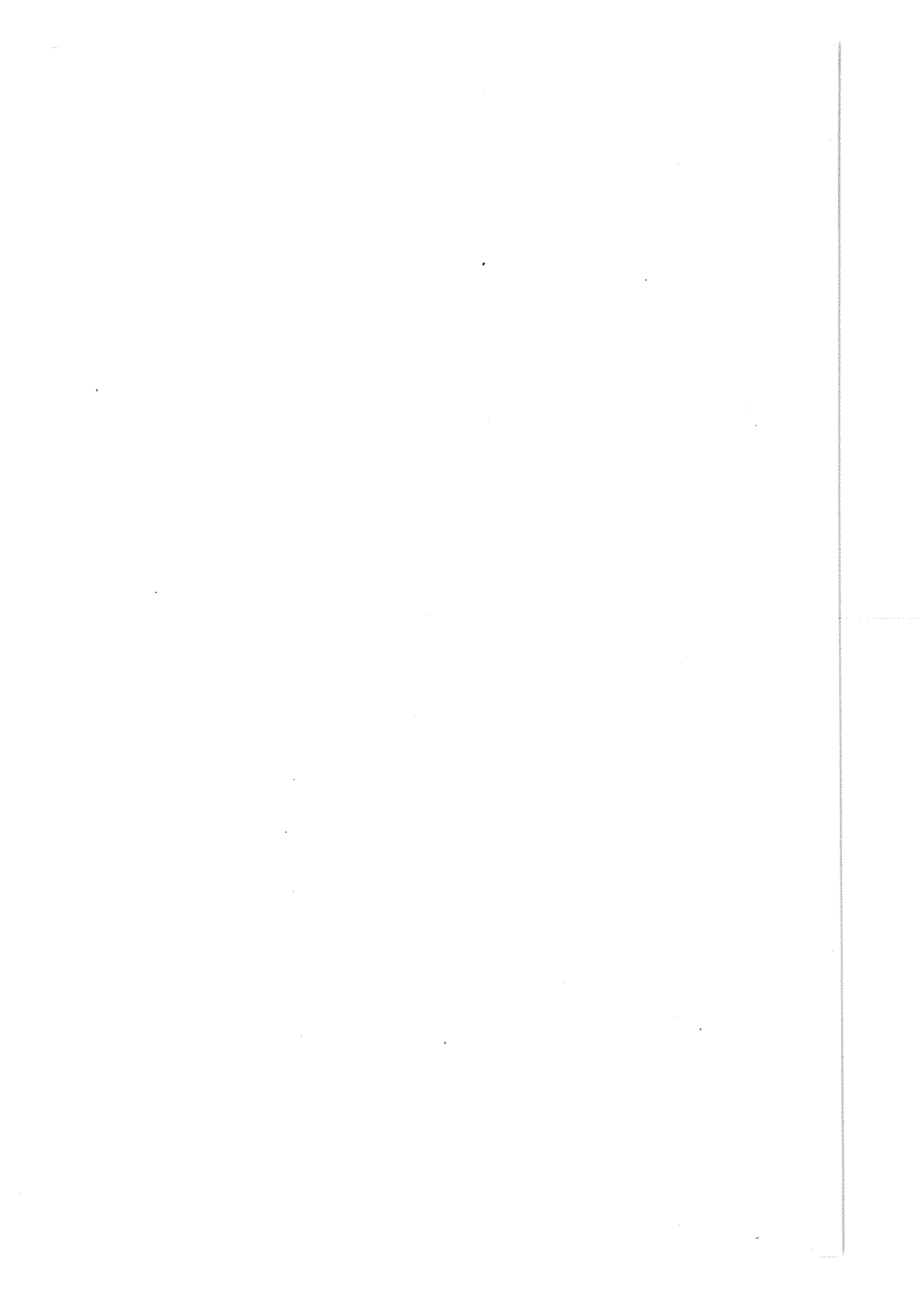


D.Domazet, M.Manić	
MODEL PROIZVODA KAO ELEMENT INTEGRACIJE CAD/CAPP/CAM SISTEMA	137
M.Manić, D.Domazet	
METOD PLANIRANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA U MODULU CAPROT	145
P.Bojanić	
NEKI ASPEKTI IZGRADNJE EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADA KUTIJASTIH DELOVA	153
Lj.Lukić, D.Polajar	
LOLA - Cut SISTEM ZA AUTOMATIZACIJA PROJEKTOVANJA PROCESA REZANJA U FPS	161
N.Radaković, S.Stankovski	
PRILOG RAZVOJU EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA	171
I.Čosić, D.Milić, S.Stankovski	
PRILOG RAZVOJU EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE POSTUPAKA RADA I TEHNOLOŠKIH STRUKTURA U MONTAŽI	179
V.Todić, D.Banjac, V.Milošević	
DEFINISANJE GEOMETRIJE ZAHVATA I OPERACIJA U PROGRAMSKOM SISTEMU VASTOPOR	187
H.Muren, U.Rumpret	
AUTOMATSKI IZBOR OPTIMALNOG ALATNOG STROJA NA OSNOVU KINEMATSKE KLASIFIKACIJE IZRATKA	199
M.Rodić	
SISTEM KLASIFIKACIJE PRIBORA KAO OSNOVA ZA AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE I UNIFIKACIJU PRIBORA	207
D.Šermaz, D.Sokolović	
ULOGA SIMULACIJE U PROJEKTOVANJU I UPRAVLJANJU	217
G.Petrovska, V.Nedeljković, M.Hovanec	
SIMULACIJA FABRIČKOG POSTROJENJA SA TRANSPORTOM UZ POMOĆ VIŠE VOZILA NA PRIMERU FABRIKE ZA IZRADU VIŠESLOJNIH ŠTAMPANIH PLOČA	225

R.Vulin, M.Cvjetičanin, S.Car EXPERT - LIKE SISTEM FLEKSIBILNIH OBRADNIH SISTEMA PRVOMAJSKA	233
Z.Kunica EKSPERTNI SISTEM ZA DEFINIRANJE FUNKCIONALNE STRUKTURE AUTOMATSKIH MONTAŽNIH SISTEMA	241
J.Lisičar PRIMJENA DFA METODE ZA ANALIZU KONSTRUKCIJE SA GLEDIŠTA POGODNOSTI ZA MONTAŽU	251
Z.Furač, B.Novaković, M.Furač SINTEZA VODJENJA INDUSTRISKOG ROBOTA EKSTERNOM LINEARIZACIJOM	263
S.Stojković KONCEPT ISTRAŽIVAČKE PODRŠKE RAZVOJA INDUSTRIJSKIH ROBOTA	271
V.Milačić, N.Čović, I.Race PILOT EKSPERTNI SISTEMI (ROBEXP) ZA KONCEPCIJSKO PROJEKTOVANJE INDUSTRIJSKIH ROBOTA NA BAZI TEHNOLOŠKIH ZADATAKA	282
V.Milačić, N.Čović, S.Radosavljević, Lj.Milošević RAZVOJ INDUSTRIJSKOG ROBOTA RG-01	289
T.Maneski PREPROCESOR ZA SISTEM PRORAČUNA MAŠINA ALATKI	297
T.Juriša, Ž.Posilović, M.Čavka PROJEKTIRANJE ELEMENATA ALATNIH STROJEVA POMOĆU RAČUNALA	305
M.Popović, M.Djapić CAE/CAD/CAPP - SISTEM ZA STANDARDNE OBJEKTE, NJIMA SLIČNE I OBJEKTE KOJI SE PONAVLJAJU U PROJEKTOVANJU	313
С.Станковски, Д.Шешлија РАЗВОЈ ЕКСПЕРТНОГ СИСТЕМА ЗА УПРАВЉАЊЕ ФЛЕКСИБИЛНОМ ВИШЕПРСТНОМ ХВАТАЉКОМ	323
P.Leš, I.Potrč, S.Plazar CAD - PROGRAMSKI PAKET ZA AUTOMATIZIRANO PROJEKTOVANJE ALATA ZA PROSJEĆANJE	331

R.Cebalo, D.Ruškarčić				
OBRADA LISTA LOPATICE PRIMJENOM VIŠEOSNOG SIMULTANOG GLODANJA				341
R.Cebalo, D.Siščan				
NUMERIČKI UPRAVLJANO DUBOKO BRUŠENJE NEOKRUGLIH POVRŠINA				349
R.Cebalo, M.Mihelić, S.Prahović				
TOČNOST POZICIONIRANJA NU-OSI NA ALATNIM STROJEVIMA				357
M.Vuković				
JEDAN KRITERIJUM IZBORA UREDJAJA ZA REGULISANJE ALATA VAN RADNE MAŠINE				367
S.Vasić, J.Stankov				
METODE PROGRAMIRANJA NUMERIČKI UPRAVLJANIH MERNIH MASINA				375
T.Udiljak, W.Yeshitila				
PROGRAMIRANJE NUMERIČKI UPRAVLJANIH ALATNIH STROJEVA				385
M.Sokolović, A.Janežić				
MODEL IZOBRAŽEVANJA KADROV ZA DELO NA CNC - OBDELOVALNIH STROJIV Z UPORABO DIDAKTIČNIH CNC - STROJEV				393
A.Kokotović				
IZGRADNJA KOMUNIKACIJSKE OSNOVE FLEKSIBILNOG PROIZVODNOG SUSTAVA				401
J.Radej, B.Balon				
SUVREMENI KONEPT IZGRADNJE UPRAVLJAČKIH RAČUNALA				407
S.Car, R.Vulin, Ž.Djurašević				
OPRAVDANOST PRIMJENE OPTIČKIH KABLOVA U UVJETIMA IZGRADNJE FLEKSIBILNIH SISTEMA				415
B.Vranješ, B.Jerebić, D.Zubović				
CLUSTER ALGORITAM ZA STRUKTUIRANJE PROIZVODNOG SISTEMA				421
M.Radojčić, M.Žižović				
IZBOR OPTIMALNOG ASORTIMANA PROIZVODNJE METODOM VIŠEKRITERIUMSKE OPTIMIZACIJE				435
S.Arsovski				
PRODUKTIVNOST KROZ FLEKSIBILNU AUTOMATIZACIJU U INDUSTRIJI PRERADE METALA				443

M.Žižović, M.Radojčić	
JEDAN PRISTUP PRIMENI METODE TRENUTNOG ZAPAŽANJA	453
Д.Јовановски, Љ.Николовски, В.Шубеска, З.Алексов	
СТЕПЕН НА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА NC - КАПАЦИТЕТИТЕ	457
Ž.R.Avramov	
FLEKSIBILNOST I ENTROPIJA PROIZVODNIH SISTEMA	467
R.Žulović, R.Nikolić, M.Kulušić i drugi	
PRAĆENJE PROIZVODNJE REZERVNIH DJELOVA U ŽELEZARI "BORIS KIDRIĆ" UZ POMOĆ RAČUNARA	477
M.Milojević, V.Milačić, R.Uzunović	
JUGOSLOVENSKI KONCEPT RAZVOJA FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH TEHNOLOGIJA I AUTOMATIZOVANIH FABRIKA	487
M.Pilipović	
PRIMENA, PROJEKTOVANJE I RAZVOJ POST-PROCESORA I POST- PROCESOR GENERATORA	495
R.Albižanić	
STRUKTURALNA DINAMIKA ALATNIH MAŠINA	503





---

## 22. СОВЕТУВАЊЕ НА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО НА ЈУГОСЛАВИЈА

ОХРИД, 24 + 16 мај, 1989г.

---

В.Дуковски\*

### ФЛЕКСИБИЛНИ ПРОИЗВОДНИ СИСТЕМИ (FMS) ПРЕДИЗВИК ЗА ДЕНЕШНИНАТА

#### КОМПЈУТЕРСКИ ИНТЕГРИРАНО ПРОИЗВОДСТВО (CIM)-филозофија за 21 век

Современиот, драматичен прогрес во производната техника и технологија, базиран на компјутерските и таканаречените механотронски технологии, многу ги промени сите производни активности во машинската индустрија, со цел да се одговори на барањата на купувачот - мирок спектар современи индустријски производи по пониски цени. Со воведувањето на флексибилната автоматизација се постигнува значително зголемување на производноста и во услови на малосеријското и серијското производство. Поставувањето на информационите мрежи се јавува како потреба за координирање на сите компјутерски базирани активности. Проектирањето на производите и процесите се повеќе се компјутеризира се со цел да се скрати потребното време за развој на нови производи. Постојаниот прогрес во овие подрачја ќе резултира во високинтегрирани и автоматизирани фабрики на иднината во кои во целост е применет концептот на CIM (Computer Integrated Manufacturing).

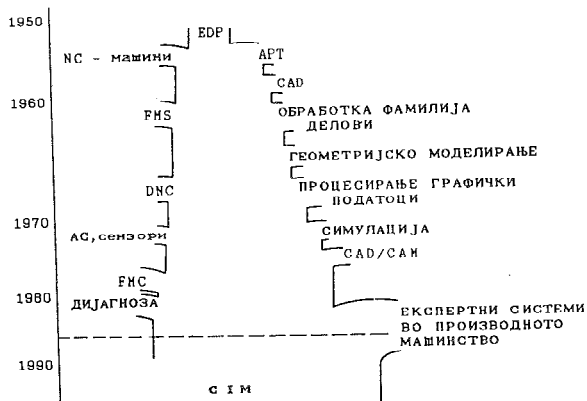
Од погорното произлегува дека постојат четири важни области кои придонесуваат за развојот на современите автоматизирани фабрики [1]:

1. Флексибилна автоматизација на производните процеси,
2. Интеграција на тековите на материјали и информации,
3. Користењето на интегрираните CAD/CAM системи,
4. Школување и обучување.

---

Др. Владимир Дуковски, ред.проф. Машински факултет Скопје

Првите три елементи, повеќе или помалку биле во центарот на вниманието во разни периоди на развојот на флексибилната автоматизација (Сл. 1), меѓутоа потребата од интегралност во концептот се повеќе е предуслов за фабриката на иднината.

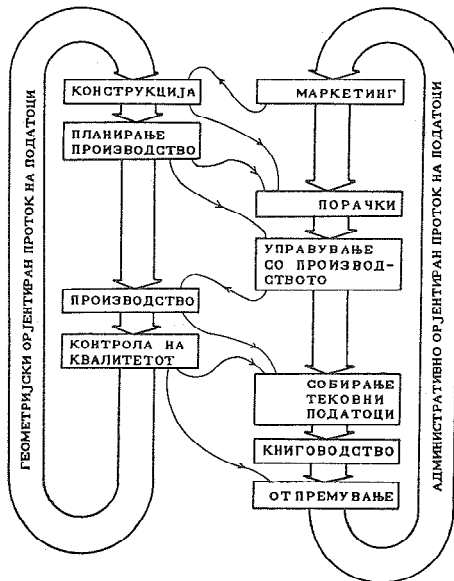


Сл. 1 Развој кон CIM - технологиите [2]

Школувањето и обучувањето на кадарот е процес кој се повеќе ќе ја условува ефикасноста на освојувањето на новиот концепт. Традиционалната конзервативност во овој сегмент може да представува не само една од главните кочници во развојот на новите системи, туку и причина за конфликт во нивното воведување. Крајно е време и школувањето и обучувањето да ја претрпат трансформацијата која производната техника и технологијата ја претрпува повеќе од 30 години.

Сложеноста, разновидноста и взаемната поврзаност на токовите на информациите во деловните системи (сл. 2) преставува сериозна пречка во создавање ефикасен и рационален единствен систем на проток на информации и материјали.

Постојат логички врски во протокот на информациите помеѓу процесот на нарачки и конструкцијата, помеѓу конструкцијата и управувањето со производството, помеѓу управувањето со производството и производството, како и помеѓу управувањето со производството и пресметките на трошоците. Различните подсистеми изградени врз соодветна основа, ги детализираат, пренесуваат и трансформираат податоците во други подсистеми. За



Сл. 2 Токови на информации во деловниот систем [2]

оваа цел не секогаш се пожелни и погодни системите со централни банки. Иднината лежи во функционално ориентирани мешавини од централни банки на податоци и интегрирани децентрализирани бази.

Имајќи предвид дека CIM концептот не преставува сам по себе автоматизација, туку интеграција, во преден план се јавува потребата од комуникација на различните учесници во системот. Одтука е оправдано соодветно забрзување во тој правец кај поедините произведувачи на изолирани решенија за CAD, CAP, PPS и CAM, кои посебно внимание посветуваат на стандардите во комуникациите и размената на информациите помеѓу поедините модули.

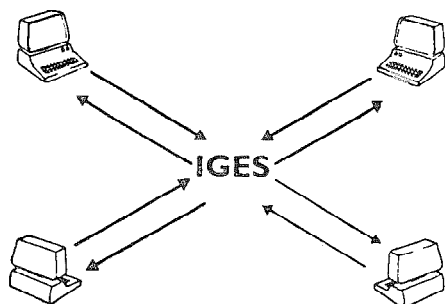
Кон крајот на 70-тите години General Motors (GM) се нашол во незавидна положба со своите 20.000 PLC, 2000 работи и преку 40.000 интелигентни уреди кои се користеле во производството. Само 12% од сите биле способни да комуницираат надвор од своето "острво на автоматизација". Ремавачки фактор за невозможност во комуникацијата било одсуството на соодветен комуникационен систем. Концентрирајќи средства и човечки ресурси GM го создаде MAP (Manufacturing Automation Protocol), воведувајќи го во сите нови и обновени фабрики. Со тоа се овозможила комуникација на

ниво на производната опрема. GM не ги задржал своите активности само на ова ниво. Тој паралелно го вовел и TOP (Technical and Office Protocol), кој се однесува на комуникациите во проектантските и административните работи. Накратко, MAP ја поврзува производната опрема, додека TOP остварува таква функција во административните и проектантски активности.

Основите за MAP/TOP протоколите се во ISO 7 нивовскиот модел OSI (Open Systems Interconnection), објавен 1978 год. Имајќи во предвид дека OSI е прилично широко поставен и сеуште некомплетен, развојот на MAP/TOP мора да оди многу подлабоко, сепак базиран на стандардизацијата која во тој смисол се прави. Оттука MAP и TOP не само што обезбедуваат комуникационен систем за производството и администрацијата, тие обезбедуваат и компатабилност за подалечната иднина.

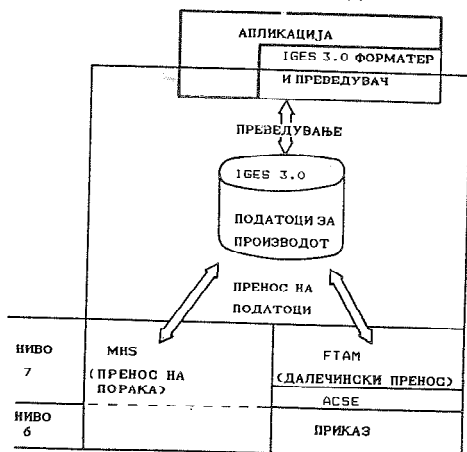
Понатамошниот развој на обата протокола е силно подржан од MAP корисничката група, формирана во март 1984 год., на чело со GM и TOP групата формирана во декември 1986 год. на чело со Boeing. Обете групи сега се обединети во MAP/TOP кориснички групи, што осигурува синхронизиран развој.

Значителни потешкотии постојат во остварувањето на комуникацијата и размената на информации во областа на CAD/CAM системите. Во 1979 год. по иницијатива на CAD (подржано од NBS) е објавен IGES (Initial Graphics Exchange Specification), неутрален формат за размена на информации помеѓу разни CAD системи. Тоа е всушност систем за индиректно комуницирање помеѓу разни корисници (сл.3).



Сл. 3 Индиректна комуникација со IGES неутрален формат [3]

IGES верзијата 3.0 е прифатена во TOP. Треба да се укаже на местото на IGES и TOP (сл.4).



Сл.4 Размена на податоци што го дефинираат производот [3]

Во податоците што го дефинираат производот спаѓаат податоците кои се потребни за анализа, конструирање, производство и испитување на производот. Всушност во овој поим се содржани информации за целиот животен циклус на производот, во кој се содржани и текви дополнителни елементи, како што се монтажни инструкции, спецификација на технологијата, финансиски податоци, информации за сервисирање, податоци за квалитетот и резултати од испитување. Комплетната размена на овие информации е крајната цел на TOP. Комитетот на NBS IGES работи на развој на стандард за размена на податоци за производот (PDES) кој евентуално би се користел како ISO стандард за таа намена.

Треба да се укаже на разликата на функциите помеѓу IGES и TOP. Преносот на податоците помеѓу системите што комуницираат не е задача на IGES. Тоа е задача на TOP мрежата. Едноставно речено, CAD/CAM системот кој ги испраќа податоците за производот ги претвора во неутралниот IGES формат, а потоа користејќи ги поедините нивои на TOP (6 и 7), податоците се пренесуваат до системот што ги прима. Таму соодветниот IGES преведувач ги претвара во форматот на системот што ги прифаќа.

Одредени истражувања покажуваат [5] несовршенство на IGES при неговото тестирање (не ги покрива сите елементи и/или модули; не ја зема во обзир целосната спецификација; големи



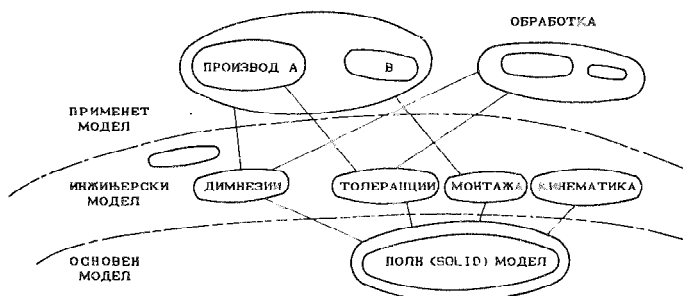
фајлови кои бараат многу CPU време за да се креираат; слаба флексибилност и сл.). Специјалистите на Aerospaciiale заклучиле дека дури и подобрен IGES нема да обезбеди автоматски проток на податоци од конструирањето до производството и поддржката (сервисирањето) на производот. Од тоа произлегол и развојот на SET (Systeme d'Echange et de Tranfert), кој од март 1985 се користи за Airbus A320 проектот, а од јуни 1985 е публикуван како француски стандард. Со сите овие активности се создава прилично конфузна ситуација во однос на иднината во ова подрачје.

И покрај забележливите резултати на полето на стандардизацијата на размената на информациите помеѓу различни CAD/CAM системи, сеуште неможе да се каже дека оваа област концепцијски одговара на потребите кои ги поставува интегрираниот информативен систем во чиј фокус е информацијата за производот. Големите број CAD/CAM системи кои се инсталираат по принципот "клуч на рака", всушност се составени од повеќе независни модули кои често предизвикуваат потешкотии кога треба да комуницираат помеѓу себе.

Многу од компаниите, тргнувајќи од пакетите за моделирање полни (solid) модели, се среќаваат со потешкотии при потребата за комуницирање со пакетите за структурни анализи или при реализацијата на DNC комуникацијата. Некои од нив западнале во сериозни проблеми решавајќи ги различните структури на податоци, поврзувањето и некомпатибилноста. Резалтот е замаглена перспектива на примената на овие системи, проследена со значителни трошоци [9]. Најчесто скапите CAD/CAM инсталации се користат за 2D цртање, што не секогаш ја оправдува нивната цена. Поаѓајќи од овие сознанија, во последните години се појавија евтими CAD и CAM системи, базирани на примена на микрокомпјутерте како графички работни станици. Оваа тенденција во развојот овозможи масовно воведување на микрокомпјутерски ориентирани CAD/CAM системи (главно базирани на IBM XT/AT/PS системите) во индустријата, претставувајќи сериозна конкуренција на големите испорачувачи на овој вид опрема (IBM, CV, DEC, HP, Tektronix и др.).

Ако треба да се оценат расположивите "клуч на рака" системи од аспект на интегралноста на концептот на моделот на производот (сл. 5), може да се каже дека ниеден од нив не ја обезбедува во целост таа интегралност нити методологија на работа, туку во најголемиот број случаи тие вклучуваат во себе многу парцијални решенија, кои на полесен или потежок начин овозможуваат да се решаваат парцијално проблемите.

Од сл. 5 произлегува потребата за задавање на моделот на производот како полн (solid) геометријски модел, кон кој се прикачени многу особини, како: материјал, толеранции, квалитет на површината, монтажа и сл. Во производната околина, за процесите како што се обработката или монтажата, може да се потребни и повеќе информации, како што е обликот на парчето на почетокот или во некоја од фазите на обработка. Структурата на моделот на производот, како и структурата на податоците потребни за него, сеуште не се доволно добро дефинирани и затоа тие треба продлабочено да се истражуваат поаѓајќи од многуте проектански и производствени активности.



Сл. 5 Концепција на моделите на производот [1]

Оценувајќи ги информационите технологии како едно од најважните стратешки развојни подрачја, Европската заедница (EC) го промовира проектот ESPRIT (European Strategic Programme for Research and Development in Information Technology) во 1984 год. со следниве пет основни подрачја [4]:

- современа микроелектроника,
- софтверска технологија,
- современо процесирање на информациите,
- канцеларијски системи,

- компјутерско интегрирано производство (СІМ).

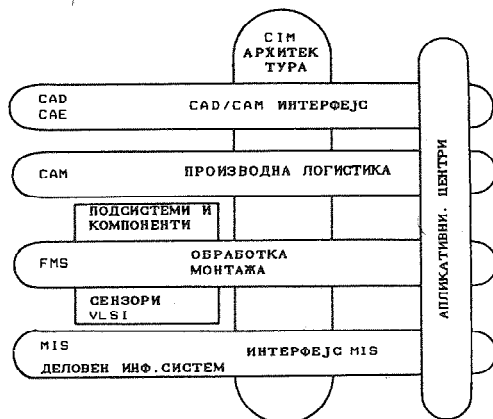
Сите овие подрачја се взаимно поврзани, а целта на иницирање ваков проект е:

- да се унапредат европските индустријски предпријатија во конкурентните истражувања во областа на информационите технологии,

- да се обезбеди европската индустрија на информациони технологии со базичните технологии кои ќе бидат потребни за 5 до 10 години,

- да се воспостави база за стандарди.

Концептот на истражувањата во СІМ подрачјето може да се види на Сл.6.



Сл. 6 Компоненти на СІМ опфатени во ESPRIT [4]

Во рамките на ESPRIT се лансирани 106 проекти од кои 19 во СІМ подрачјето. Подолу ќе се наведат некои од овие проекти за да се укаже на целите во истражувањата [4,8].

- Правила за проектирање СІМ системи

Партнери: IUTEL/CWI - Амстердам

Цели: да се развие комплет на правила за проектирање СІМ системи за обработка.

Пристап: - комбинирање на искуствата во производството и информационите технологии,

- функционална анализа на производниот циклус,

- дефинирање на подсистемите и соодветните врски.
- Резултати: - правила за дефинирање подсистеми и комплетно поврзување,
- дефинирање правила веќе прифатени од други проекти надвор од ESPRIT,
  - да се публикува книга од страна на North Holland.

Следува: проектот е наменет да преставува генерален пристап за другите CIM подрачја.

Без навлегување во детални објаснувања ќе се наведат и други проекти:

- CIM архитектура базирана на OSA
- Интерфејси во CAD системите
- Отворен CAM систем
- Оптосензорски пристап за адаптивно управување на лачно заварување
- Општ сензорски управуван систем за производство на делови
- Интегриран електронски подсистем за автоматизација на погони
- Проектирање на производите за автоматско производство и монтажа
- Пренос на податоци помеѓу CIM и MIS (деловниот информативен систем)
- Интегриран информационален процес за проектирање, планирање и управување на монтажата.

Сите овие истражувања, како и многу други кои овде не беа споменати укажуваат дека идниот развој во производните технологии оди кон интеграција, надминувајќи го концептот базиран на поединачни машини. Одтука било каков понатамошен развој во секоја средина, кој не го почитува концептот на интеграција, колку и да е како поединечно решение напреден, може да преставува решение за краток дах, без сигурна основа за развој. Ова не значи дека CIM концептот ќе заживее во скоро време. Некои предвидувања укажуваат дека [6] мирската распространетост на CIM концептот може да се очекува во 2000 год., а дури негде во 2030 год. може да се очекува непосредноста

како со CNC машините. Доколку воведувањето на CIM концептот тргне во погрешен правец, ќе предизвика само конфузија, ќе чини многу пари, ќе отвори многу информатички места и ќе воспостави нефлексибилност. Пред да се навлез предлабоко во CIM многу е важно да се обезбеди предпријатието да извлече максимум од постојната технологија (на пример од групната технологија (GT, симулацијата) за решавање на проблемите, пред да се додаде и CIM, бидејќи во спротивно тоа ќе остане со CIMP (Computer Integrated Manufacturing Problems). Се проценува [2] дека е потребен временски период од десет години за воведување на CIM концептот. Оние кои сеуште немаат никакви резултати во примената на поедините компоненти на CIM концептот, секако дека ќе треба да поминат уште многу подолг пат за да се приближат кон воведувањето на CIM. Оние што нема да започнат со размислување и подготовки уште веднаш неможат да сметаат на својата конкурентска способност во 21 век.

#### ДЕФИНИЦИИ НА FMS

Основната идеја за FMS постои уште поодамна (сл.1), со појавата на System 24 на фирмата Molins [18]. Тоа бил флексибилен систем за обработка на делови, управуван од компјутер, со можност за работа 24 часа на ден (без учество на персонал 16 часа). Системот опфаќал NC машини, палети со рачно поставување на деловите и магацини за алат на секоја машина. Бил вклучен уред за миене на деловите и за собирање струшка. Со воведувањето на роботите и другата опрема управувана од компјутер, се јавила можност за користењето на концептот на FMS и во други производни комплекси, како што се обработката со деформација и монтажата. Тука веднаш треба да се одбележи квалитативната разлика на DNC од FMS системите. DNC системите не располагаат со широчината на можностите на FMS, бидејќи во нив не е вградена обврската за работа без послужувачи. Следува едно од основните својства на FMS: тоа е систем со потенцијална можност за работа без персонал, најмалку во една смена.

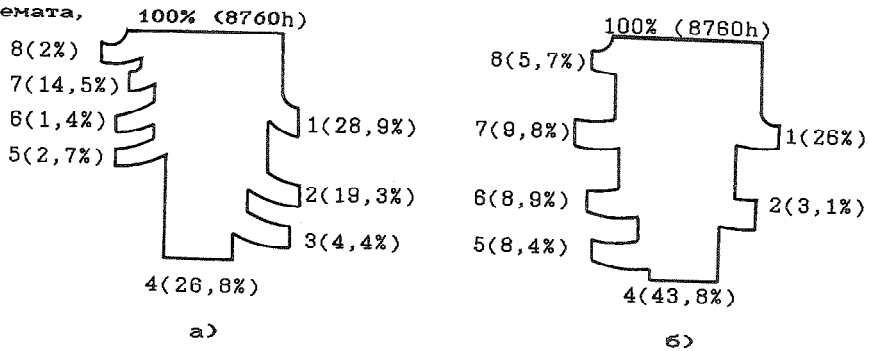
Анализирајќи ги почетоците и потребите за создавање на FMS неминовно се доаѓа до билансот на работното време и загубите во производството (сл.7). Анализата на билансот на времето кај



машините со рачно управување покажува извонредно низок степен на нивна ефективна искористеност (сл.7), што се должи на многу фактори од кои најдоминантна е ниската сменност на работа на опремата. Ситуацијата станува уште полоша ако се знае дека основното машинско време во овие случаи достигнува само 8 + 10% [19]. Следува дека FMS е логичен развиток на NC машините во правец на што попотполно нивно искористување (сл.7б).

Од погорното проиелегуваат следниве очекувани резултати од воведувањето на FMS [18]:

- намалување на производните површини,
- зголемување на коефициентот на искористување на опремата,



Сл. 7 Биланс на работното време и загуби:

а) за универзална опрема со рачно управување

б) за FMS

1- одмор и празнични денови; 2- трета смена; 3- пауза за ручек; 4- корисно време; 5- послужување на работното место, превентива, подесување; 6- расипување; 7- организацијски застои; 8- плански ремонт [20].

- намалување, најмалку за половина, на обемот на, незавршеното производство,
- намалување на трошоците за работна рака, како резултат на примена на работа без послужувачи,
- намалување на времето за подесување,
- забрзување на освојување измени во производот,
- скратување на роковите за испорака на продукцијата,
- стабилизација на квалитетот на изработката,
- стандардизација на технолошката опрема,
- зголемување векот на експлоатација на капиталната опрема,

- развој во правец на CAD/CAM интеграцијата.

Од овие очекувања и разнообразноста на практичните решенија, посебно со примената на флексибилната автоматизација во други технологии и области, тешко е да се извлече јасна дефиниција за тоа што е FMS, а што е останатото, кое е повеќе од NC машина, а не подпаѓа под дефиницијата за FMS. Очигледно дека дефинициите во разни земји на различен начин ја третираат оваа проблематика што во основа создава конфузија околу определувањето на бројот на инсталираните системи [21]. Оваа конфузија беме одсекогаш присутна и во анализите на распространетоста на индустријските работи [23].

За да се има сепак појасна представа за пристапите, ќе се дадат поедините дефиниции и представи за FMS.

Студијата [21] ги прифаќа следниве дефиниции:

FMS е составен од две или повеќе флексибилни производни келии (FMC), поврзани со автоматски транспортен систем кој ги движи палетите, деловите и алатите помеѓу машините и кон и од складиштето за делови и алати. Целиот систем е управуван со DNC компјутер, кој вообичаено е поврзан со фабричкиот компјутер. Флексибилната производна келија (FMC) содржи две или повеќе машини, секоја опрема со автоматски системи за замена на алати и која е управувана од DNC компјутер. Исто така е дефинирана и флексибилна производна единица (FMU), која е поединечна машина, опремена со повекепалетен магацин, автоматски менувач на палети или робот и автоматски уред за замена на алати, со што постои можност за делумна работа без човечко присуство.

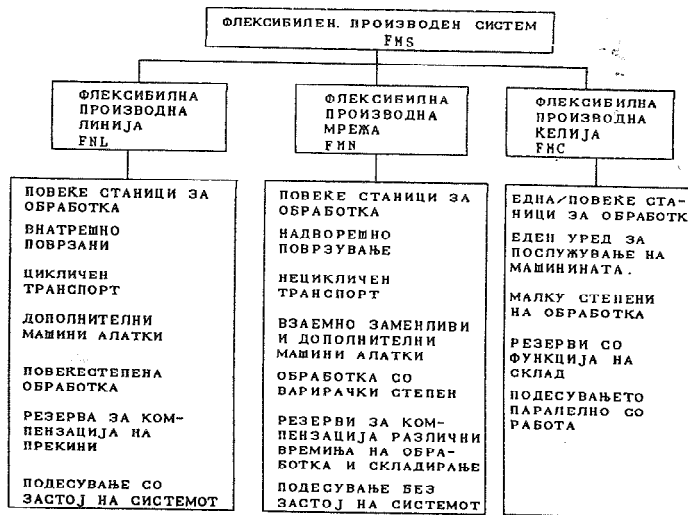
Оваа дефиниција многу јасно ја дефинира модуларноста на системот, во кој FMS е највисок степен на интеграција на FMC.

Према ГОСТ 26228-85 под FMS се подразбира [2] целокупност, во разни комбинации, на NC опрема, роботизирани технолошки комплекси, флексибилни производни модули, поедини единици на технолошка опрема, како и систем што обезбедува нивно функционирање во автоматски режим за време на зададен интервал, при што треба да поседува особина на автоматизирано подесување при производство производи со произволна номенклатура во

границите на зададени вредности и карактеристики.

Во понатамошната разработка на оваа дефиниција авторот [20] ја проширува по содржина оваа дефиниција со констатација дека "во општ случај FMS треба да обезбедува комплексна автоматизација на сите елементи на производниот процес, вклучувајќи ги процесот на обработка и управување, подготовка на производство, разработка на конструкторската и технслошката документација и планирањето", што во принцип ги надминува рамките на FMS и зачекорува во CIM концептот. Можеби во иднина тешко ќе може да се разграничи каде завршува FMS, а каде веќе одпочнува CIM концептот, но во денешно време се чини дека е преамбициозно во рамките на FMS системите да се очекува сета комплексност на CIM концептот. Оваа констатација е од големо значење за оние средини кои размислуваат за воведување на FMS технологијата.

Малку подруг пристап кон FMS дава Spur [13], кој на овој поим му дава глобално значење во кое се опфаќаат разни подгрупи на опрема (сл.8).



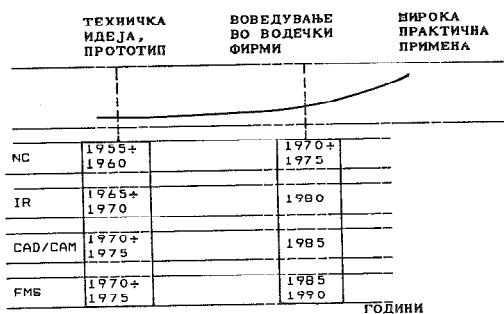
Сл. 8 Флексибилна автоматизација [13]

Во оваа класификација под поимот FMS не се подразбира конкретен систем, туку се опфаќа севкупноста на формите на

флексибилно производство (FML, FMN, FMC). Низ оваа класификација може поедноставно да се анализираат постојните системи и да се најде нивното место, а и да се оправда користењето на поимот FMS за која било од трите групи, што е масовно раширено во практиката кај производителите на овој вид опрема.

#### РАСПРОСТРАНЕСТОСТ И ОПРАВДАНОСТ НА ПРИМЕНА НА FMS

Како и за секоја нова технологија (NC машините, роботите) така и за FMS се вршат обемни анализи на застапеноста во светски рамки и оправданоста за нивна примена. Одкога ќе помине критичниот момент на нивната поширока распространетост, се помалку се вршат овие анализи, сметајќи ја таа технологија за веќе широко освоена и потврдена. Интересна е илустрацијата на овој проблем, прикажана на сл.9.



Сл. 9 Крива на распространетост и воведување на флексибилните технологии [19]

Тешко е да се најдат многу свежи податоци, а дури и големите меѓународни истражувања се среќавале со потешкотии при проценувањето на состојбата со распространетоста на FMS во светски рамки [21]. Споредувањето на разни извори, [21] со [13], не дава ни приближно исти сознанија. И покрај тоа што податоците од [21] не се најактуелни сепак се корисни заради согледувањето на трендовите и распространетоста (Табела 1) [21].

Прегледот на подрачјата на користење покажува дека најголем дел од FMS е застапен во обработката со режење, а внатре во неа дури 75% од системите одпаѓаат на обработката призматични делови. Во западна Европа главни корисници се

Табела 1 Инсталирани FMS и FMS по области кај  
Европски земји, САД и Јапонија во 1984/85 [21]

Земја	Обработка со режење		Обработка со деформација		Заварување		Монтажа		Други		Вкупно	
	FMS	FMS	FMS	FMS	FMS	FMS	FMS	FMS	FMS	FMS	FMS	FMS
Белгија	-	-	4	-	-	-	-	-	1	-	5	-
Бугарија	...	3	...	-	1	-	3	-	...	-	...	7
Канада	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Кипар	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Чехословачка	54	6	43	2	31	1	5	1	19	2	152	12
Франција	15	6	5	2	3	1	12	5	5	3	40	17
Унгарија	14	4	-	1	-	-	-	-	-	2	14	7
Холандија	10	6	12	8	25	6	-	1	25	4	72	25
Норвешка	6	-	2	-	2	-	-	-	-	-	10	-
Шведска	50	10	-	-	10	-	10	1	-	-	70	11
Турција	3	-	2	-	2	-	3	-	-	-	10	-
В. Британија	...	3(21)	...	(5)	...	-	...	(3)	...	(6)	...	3(35)
Вкупно	154	38(21)	70	13(5)	73	9	30	11(3)	50	11(6)	377	82(35)
Австрија											4+6	
ФР Германија												25+35
Италија												25
Јапонија												100
СССР												60
САД												47
ВКУПНО												339+349 (+35)

Бројките во заграда покажуваат број на единици во изградба



автомобилската индустрија (43%) и производителите на алатни машини со 9%. Во СССР 50% се во индустријата на алатни машини и тешката индустрија, 25% во автомобилската индустрија, 10% во електромашиноградбата и 15% кај други. Студијата се занимава и со вкупните вложувања во фабричката автоматизација (FA), кои во 1983 год. биле  $15 \cdot 10^9$  USA\$, со предвидувања за пораст во 1989 год. до  $65 + 75 \cdot 10^9$  USA\$, од кои на CIM концептот би одпаднало  $26 \cdot 10^9$  USA\$.

И други извори [19] даваат процена за застапеноста на FMS во поедините области и тоа во :

- обработка со режење 50%
- обработка со деформација 21%
- заварувањето 12%
- монтажата 5%
- останати 12%

И во рамките на обработката на металите нема равномерност. Предимствено се користат во обработката на кутиести делови, потоа за ротациони делови, а потоа за лимови. Ова е резултат главно на времето на технолошкиот циклус кое кај кутиестите делови тоа е најголемо, што ја намалува неопходноста од големи резерви на делови на влезот на единицата (модулот). Основен проблем кај овие FMS е раширувањето на номенклатурата на производите, заради што се зголемува и бројот на потребните палети и алати.

Кај единиците (модулите) за ротациони делови (FMU) заради малото време за обработка се јавува зголемена потреба за создавање резерви делови и се зголемуваат трошоците за манипулирање со нив. Заради големата цена на модулите за ротациони делови, тие многу поредко се обединуваат во линии и мрежи. Обично тоа се прави при еднообразни делови од типот на вратила. Главното внимание кај FMS за ротациони делови е посветено на разработката универзален прибор и опрема за манипулирање.

Многу потешко со FMS се освојува монтажната технологија. Ова пред се е условено со спецификите на монтажниот процес:

- сложеност на процесот заради разновидност на

објектите за монтажа и потребната опрема,

- краткиот циклус на операцијата монтажа (понекогаш се изразува во делови од секунда),

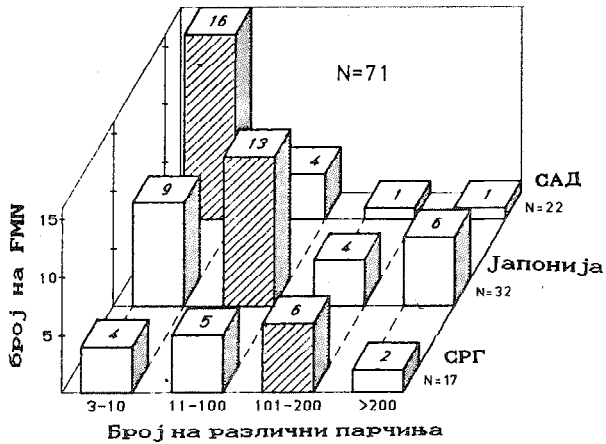
- слаба крутост на деловите и опремата (роботите),

- потреба од подесување, дотерување и земање во обзир на толеранциите на деловите што се спрегнуваат.

Ако во FMS за обработка централна компонента е центарот за обработка, тогаш кај монтажните FMS големо значење имаат индустријските работи. Меѓутоа при монтажата се потребни работи со развиена сензорика и со доволно висок ниво на вештачка интелигенција, што ги зголемува трошоците за FMS. Бидејќи роботите управувани од единици кои располагаат со елементи на вештачка интелигенција (развиена сензорика, препознавање, одлучување) сеумте не добиле широка примена, се зголемуваат трошоците за периферијската опрема и помагала кои создаваат услови за примена на поедноставни работи. Притоа, често, цената на опремата и периферијата достигнува и 70% од вкупната цена на монтажната ќелија или единица.

Едно од најинтересните прашања кое се поставува пред оние што проектираат, користат или мислат да користат FMS е прашањето за нивната флексибилност, т.е. универзалност. Се разбира дека основен ограничувачки критериум е волуменот на работниот простор. Се укажува [22] дека инсталираниот систем кај Ingersoll Milling Co., Rockford, CAD, може да произведува секаков вид на делови кои се вклопуваат во 1 m<sup>3</sup> (столбови, маси, менувачи и сл.). Се споменуваат околу 3000 делови кои можат да се обработуваат на системот. Секако ваквите системи се голем исклучок (сл.10). Од сликата се гледа дека најголемиот дел од FMS се проектирани да обработуваат до 10 различни делови, додека системите за повеќе од 200 различни делови се невообичаени [13]. Ова секако е сврзано со ограничувањата што ги поставува изборот на алат, расположивите машини, како и сложеноста на управувањето на така мироко поставени системи.

Постојат голем број податоци кои зборуваат за ефектите за примена на FMS и нивната оправданост за воведување во производството. Во [18] се даваат следниве примери:



Сл. 10 Флексибилност кај FMS [13]

- од примената на FMS освоен е ефект од  $15 \cdot 10^6$  фунти, а вредноста на незавршеното производство се смалила од  $3 \cdot 10^6$  фунти на 150.000 фунти.

- скратување на периодот за освојување нов производ за (50 + 60) %
- намалување икарт од 25% на 5% и т.н.

Се чини дека најреални се податоците добиени од широките истражувања [21] кои можат да бидат сумирани во следново:

- заштеди во работната рака не помалку од 30%,
- заштеди во материјал не помалку од (13 + 15) %,
- залихи и незавршено производство, намалени за најмалку 50%

- време на циклусот, намалено средно за 40%,
- користењето на машините средно зголемено за 30%,
- вкупна цена на производот, намалена за (14 + 27) %,
- бројот на машините претрпел различно намалување но се зголемило барањето кон другата опрема,
- вкупните заштеди од работењето се зголемиле за (112 + 310) %.

Овие предности не се резултат само на инсталирањето на FMS технологијата, туку и од вкупните подготовки за нејзино воведување и новиот начин на работење.

### КОНФИГУРАЦИИ НА FMS

Големите успеси на FMS технологијата, посебно изразени кон крајот на 70-тите и почетокот на 80-тите, се карактеризираат со силен пробив на оваа технологија во создавањето комплексни и скапи FMS. Постојат значаен број примери обработени во литературата [18,21,22,24,27,30,31] со кои се опфаќа разноврсноста, комплексноста и проблемите типични за создавање нови производи. Она што е карактеристично е фактот дека најголемиот број од овие системи се изградени во сопствените фабрики на произведувачите, што од една страна овозможило смело да се навлезе во оваа нова технологија, а од друга страна на сопствениот пример да се соберат искуства и сознанија со кои ќе се создаваат производи погодни за пазарот. Овој пристап е од извонредно значење за оние кои имаат амбиции да произведуваат и нудат FMS технологија, а кои сеуште во својата средина немаат намера да ја користат.

Силниот, прилично амбициозен бум, по својата комплексност и вложени средства предизвика сериозни расправи околу оправданоста на ваквите системи [29]. Без да се навлегува во деталите од тие расправи ќе се пренесе констатацијата дека [29] како и во случајот на NC машините пред 20 години и покрај аргументите за и против, развојот на FMS брзо ќе продолжи на база на пробување и грешки и ќе биде целосно прифатено од метало-преработувачката индустрија и пред расправата да дојде до некој заклучок. И уште една мисла: "нема смисла да се заробиме во средината на дебатата, кога главната струја тече брзо кон целосно прифаќање на FMS".

Да се навраќа на почетоците, да се опимуваат сите големи системи, всушност е обемна работа која веќе, главно е содржана во монографијата "FMS во дејство" [18]. Она што понатаму ќе се даде се трендовите кои во тој смисол се присутни во последно време, а кои непобитно произлегуваат од практиката стекната во минатото. Посебно внимание ќе се посвети на развојот на технологијата за работа без персонал на фирмата YAMAZAKI MAZAK CORPORATION од Јапонија, која во 1987 год., према [35], со

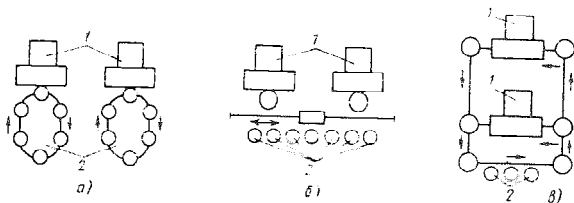
остварената продажба од  $675 \cdot 10^6$  USA\$ е на првото место во светот. Овој резултат е остварен со 3000 вработени нив целиот свет. Согледувајќи го извонредното значење на автоматизацијата (Factory Automation) и квалитетот во развојо на алатните машини, оваа фирма граби со огромни чекори напред докажувајќи ја исправноста на својата концепција во своите фабрики. Пристапот на оваа фирма не е во формалното сфаќање на концептот на FMS по секоја цена и на ист начин за секого, туку како креативен процес кој наоѓа решение и во оние сфери каде одамна се мислело дека границите се достигнати - во концепцијата на машините. Наместо гломазните решенија за поврзување повеќе класично концепирани машини во келија или систем, оваа фирма бара и наоѓа нови решенија кои отвораат нови простори во конструкцијата на алатните машини и системи. Таа неконвенционалност заслужува посебно да биде потенцирана.

Поаѓајќи од анализите на застапеноста на FMS, посебно внимание ќе се посвети на системите за обработка со режење меѓу кои оние за кутиести делови се доминантни. Сфаќајќи го создавањето на FMS како повисок степен на интеграција на флексибилните единици (FMU) и келии (FMC), неопходно е да се тргне од нив во анализата, согледувајќи ја нивната способност за работа без послужување во подолг временски период, а преку дополнување со друга опрема и интегрално компјутерско управување и работа во систем на машини без послужување.

FMS за кутиести делови главно се компонираат од хоризонтални центри за обработка снабдени со систем на палети и алати со што се овозможува одреден период на работа без послужувач. Основните општо познати варијанти на повеќепалетни системи кај центрите за обработка се дадени на сл.11 [18].

Концепцијата 11a е една од првите класични решенија со која се овозможува концептот за висока флексибилност и работа без послужувач за подолг период. Концептот 11b е решение кое интегрира робоколица и кое овозможува поврзување во единствен систем на повеќе машини и складите. Решението дозволува модуларност на градбата. Варијантата од сл 11b поредко е застапена заради ограничувачките можности. Стекнувајќи соодветно

искуство во примената на 11a и 11б, Mazak нуди и нов концепт на вертикално расположен систем на палети. Со тоа се постигнала заштеда во просторот, а и се отворил пат за обезбедување голем број палети, што обете решенија (11a и 11б) не го овозможуваат.



Сл. 11 Варијанти на компомирање флексибилни ќелии составени од два центра за обработка (1):

а) со повекепозициони уреди за автоматска замена на палетите;

б) со посебна робоколичка и линијски распоред;

в) со кружен тек на деловите.

(2) - место за поставување и симнување на деловите.

Така во својата понуда на палетни системи фирмата нуди [32]:

- двопалетен систем со што овозможува машината да работи во FMS систем (према сл.11б) или сама,

- повекепалетен систем (вообичаено 6, но се среќаваат и со 8 и 10) за флексибилна работа према концептот од сл.11a,

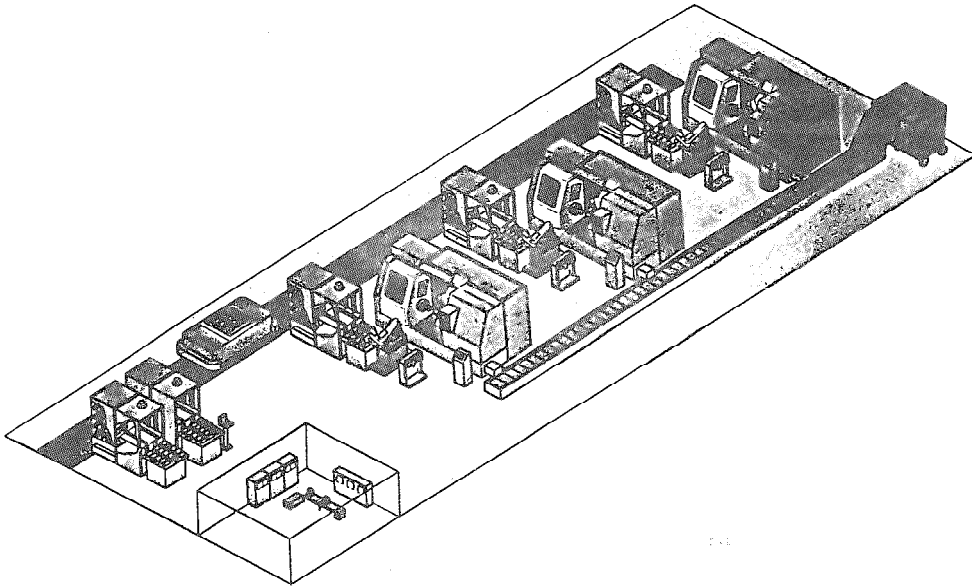
- повекепалетен систем (и со 15 палети) со вертикален распоред на палетите за флексибилна работа према концептот од сл.11a. Посебни изведби на вертикални палетни системи можат да бидат комбинирани со транспорт со робоколичка што овозможуваат од една страна значителна автономност на машините, посебно потребна кај кратките циклуси на обработка (типично за стругарски операции), а од друга страна и поврзување во поголеми системи (сл.12).

Идејата за вертикално поставување на палетниот систем логично води кон искористување на оваа концепција и за модулно изградените FMS на база на центри за обработка (сл.13).

Од сл.13 може да се видат главните компоненти и решенија кои се применети во оваа концепција. Системот е модуларен и може да биде изведен во голем број варијанти, почнувајќи од:

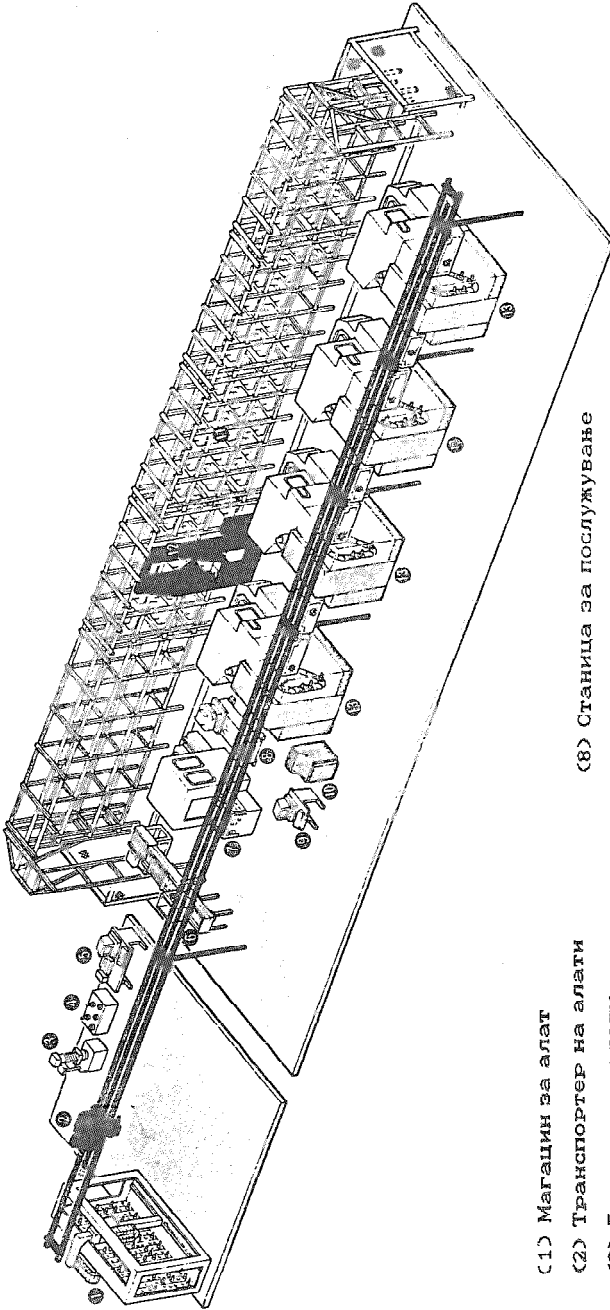
- една машина со 15 палетен регал и робот, при што машината може да биде снабдена со класичен магацин за алат со 80

или 120 алати, или со специјален модулен систем на алати со капацитет 160, 240 и 480 алати,



Сл. 12 Интегриран систем за обработка ротациони делови со вертикални палетини системи, робоколичка и роботи (извор Mazak)

- модулно зголемување на системот до 8 машини, со можност на комбинации на повеќе модули палети со една машина,
- системот може да вклучува до 2 станици за поставување и симнување на деловите, како и станица за миене,
- системот може да вклучува посебен заеднички магацин за алат кој ќе ги дополнува основните магацини на машините (со релативно мал капацитет) со специјален роботски транспорт. На овој начин решен е проблемот со чување големи количини алат кон секоја од машините, што вкупно создава големи залихи. Се чини дека по многуте поранешни опции за решавање на овој проблем (замена магацини, создавање големи системи кон секоја машина) оваа може да се смета за најрационално решение.



(1) Магазин за алат

(2) Транспортер на алати

(3) Подесување алати

(4) Програмирање чипот за алат

(5) Компјутер за алатите

(6) Станица за делови

(7) Машина за миене

(8) Станица за послужување

(9) Монитор за делови и помагала

(10) FMS компјутер

(11) Вертикално палетно складиште

(12) Робот

(13) Читач на чипот на алатот

Сл. 13 Модулен систем Mazatrol FMS I33I



Развојните напори на производителите на алатни машини и воопшто на опрема за флексибилна автоматизација, не се само упатени на решавање на окружувањето на машините и нивно поврзување во систем, туку и на суштинско усовршување на самите машини како решавачки фактор во целиот систем. Нови хоризонти се отвараат со 32 битните мултипроцесорски CNC управувачки единици со вградени функции на вештачка интелигенција (AI) кои не само што им даваат неспоредливи перформанси на машините, туку значително ја зголемува поузданоста на работата, што е решавачко за работата на FMU, FMC и FMS. Во табела 2 се дадени некои суштествени предности кои ги дава CNC управувачката единица MAZATROL M-32 на Mazak, со која се резвиени нова генерација машини.

Системот се смета за отворен за понатамошно усовршување кај купецот со доставување на софтвер на 3 1/2 inch. дискета.

За подготвување на програмите надвор од машините Mazak го нуди својот CAM систем кој овозможува DNC комуникација со поедините машини или преку FMS компјутерот со MAZATROL FMS. Системот располага со стандардниот IGES формат со што може да се поврзува со CAD системи кои го генерираат тој формат.

Важна новина во FMS системите применета кај MAZATROL FMS е користење на меморијските чипови за меморисање на информациите за секој алат или палета. Секој алат содржи меморијски чип со: името, бројот, должината, пречникот, трајноста, кои се содржани и во компјутерот за управување со алатите. Со ова се постигнуваат значителни предности во манипулирањето со алатите и избегнување грешки при замена на алат, што е посебно суштествено во услови на работа без послужувач. Меморијските чипови на палетите содржат: број на палетата, бројот на делот, како и информација за број на стегнати парчиња. Кога палетата се транспортира до местото за стегање на делот, сензорот го прочитува бројот на палетата, а FMS компјутерот го прикажува цртежот за стегање на делот на екранот монтиран на влезната станица.

Некои карактеристики на MAZATROL M-32  
и на неа базираните центри за обработка Табела 2

Hardware - двоен 32-bit CPU и 60-bit нумерички процесор

Интерактивно програмирање со елементи на бемтачка интелигенција

1. Автоматско одредување на режимите на режење врз основа на материјалот што се обработува, количината што се симнува и потребниот квалитет.
2. Автоматски избор на алатот и сложени операции (за режење навој автоматски се избира алат за задупчување, дупчење и врежување).
3. Дефинирање пресечни точки на сложени контури.
4. Користење готови делови од други програми.
5. Идентификација на постоене соодветен алат во магацинот и негово користење во различни програми.
6. Графичка презентација (2D, 3D, Zoom).
7. Автоматско определување најкраток пат до парчето.
8. Автоматско определување најповолнатраекторија на обработката.
9. Одредување приоритет на алат кога тој се користи за повеќе секвенци на исто парче или на повеќе парчина стегнати на повеќестрани палети.
10. Автоматска промена на поместот при сложени контури.
11. Брза оријентација на вретеното со дигитално управуван AC мотор.
12. Брза обработка на сложени контури.
13. Тродимензионална обработка со избор од 11 различни облици и едноставно програмирање.
14. Следење трајност на алат, одредување крмење на алат.
15. Адаптивно управување по помест следејќи оптеретување на моторот за главно вретено и сервомоторот по з-оска.
16. Автоматско поместување на координатниот систем на парчето врз основа на мерење со допирен сензор (touch sensor).
17. Симултано изведување различни функции (замена на алат палета или индексирање).
18. Автоматско мерење на должини.
19. Меморисање на траекторијата на алатот при сервисно одведување, заради продолжување на работата.
20. Компензација на деформација на машината.
21. Подржува машини со апсолутен систем на позиционирање.

## Други карактеристики

1. Голема редукција на бројот на компонентите во хардверот со што е постигната голема компактност и поузданост.
2. Приказ на статусот на одредени кола заради дијагностика.
3. Приказ на околу 1000 алармни пораки

## Комуникациони можности

1. Може да се оствари DNC комуникација преку Mazak Protokol DNC Interface.
2. подржува MAP комуникација.
3. Во процес на работа може да изведува комуникација или други активности (програмирање и сл.).

## Перформанси на центрите за обработка

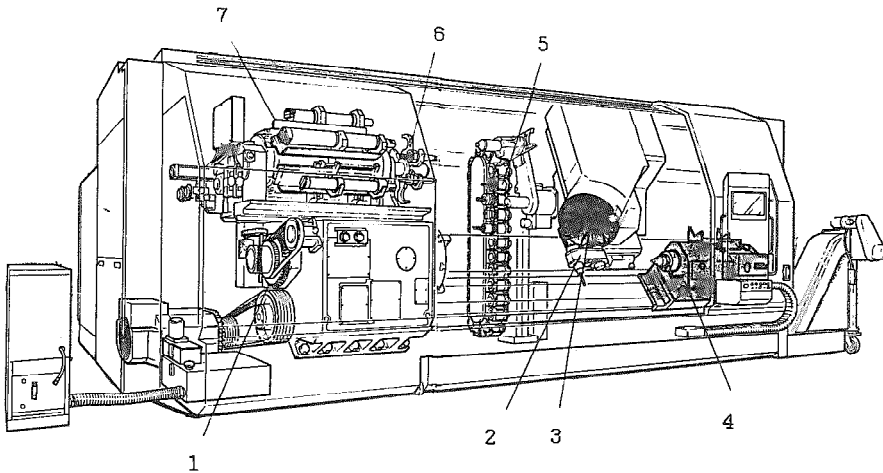
карактеристики	MAZATECH N=400	MAZATECH N=1000	единици
Димензии на палетата	400x400	1000x1000	mm
Макс. врте. на вретеното	7000	4000	o/min
Брзи движења	24	15	m/min
Замена на алат (режење-режење)	6	16	sec
Замена на палети	6	30	sec
Позициона прецизност	±3	±5	µm
Повторливост	±1	±2	µm

Се подразбира дека преку меморијските чипови се врши постојана контрола на алатите и палетите со што се обезбедува неопходната поузданост на системот за работа без послужувач.

И во доменот на обработка ротациони делови присутни се значителни концепцијски новини. Со модулниот пристап, високата концентрација на технолошките можности и дополнителната опрема за работа без послужувач се отвараат нови хоризонти за рационална обработка на ротациони делови. Тука мора де се спомене новата серија INTEGREX машините на Mazak (сл.14).

Кон можностите на веќе познатите стругарски центри (трета оска, глодање и дупчење) на оваа и други фирми, оваа машина додава и:

- магацин за долги борманги,
- дополнителна оска Y за обработки нормални на X и Z, со посебен магацин со 6 + 8 алати.



Сл. 14 INTEGREX стругарски центар на Mazak (извор Mazak):  
 1- с-оска; 2- у-оска; 3- двопозициона глава; 4-  
 конче; 5- магацин за алати; 6- магацин за алати  
 за у оска; 7- магацин за долги алати

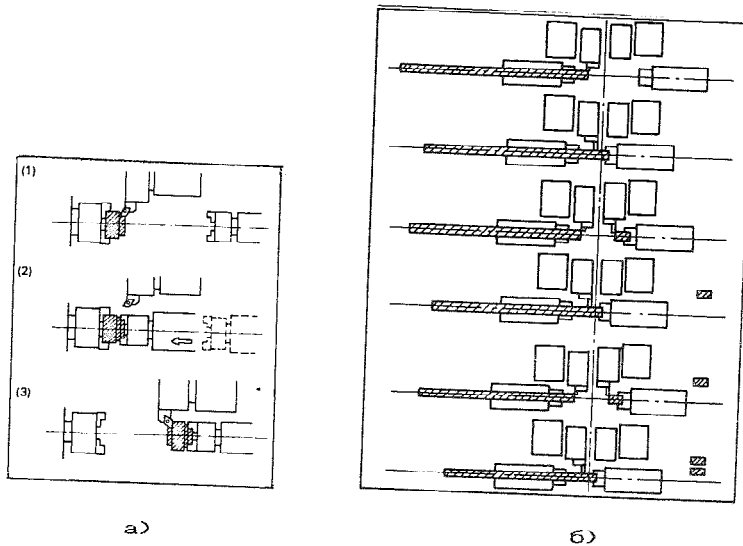
Со ова на иста машина можат да се изработат извонредно комплицирани делови.

И овде треба да се одбележи високата прецизност која се постигнува кај овие машини, како на пример:

- грешка на повторливост на индексирање алат < 1 $\mu$ m,
- повторливост по X оска 1  $\mu$ m.

Треба да се одбележат и иновациите на QT-15SP машината (сл.15а) и новоконцепираната MULTIPLEX машина (сл.15б), чии концепции претставуваат ново поглавие во оваа техника.

Со дополнително вретено (сл.15а) на местото на кончето, класичниот QT-15 е претворен во машина која одеднаш ги обработува обете страни. Новата филозофија во MULTIPLEX-от (сл.15б) е во симетрично конфигурираната машина кај која Z оската ја обезбедуваат главните вретена, а обете глави X-оската. И оваа машина ги обработува обете страни одеднаш, во паралелна работа на обете позиции. И повеќе од тоа, овозможува синхрона работа на обете страни при обработка тенки вратила, без потреба од линета.



Сл. 15 Принцип на работа на QT-15SP(a) и MULTIPLEX(b) машините на Mazak [извор Mazak]

Дел од овие машини можат да бидат снабдени со автоматски систем на замена на челоусти, како и со соодветни системи за автоматско послужување на машината (подавач на шипкаст материјал, роботи, палетни системи). Исто така некои од овие машини снабдени со робот и палетен систем, можат да формираат и FMS од концептот кој веќе беше прикажан кај центрите за обработка.

Во областа на обработката на ротациони делови треба да се одбележи и модуларниот систем на фирмата TRAUB (CPG), кој е класичен во пристапот, базиран на стругарски центар со дополнителна опрема за манипулација со парчињата, алатите, стругарските глави (систем за послужување од типот на портален робот).

Нема да биде претерано ако се каже дека постојат очигледни предности на концептот и развојот кој го манифестира Mazak, над оној забележан кај европските компании. Ако треба да се бараат причините за тоа, тие сигурно се содржани во мотото кое е присутно кај секој производ на Mazak - прецизност и автоматизација. Резултат на оваа определба се и супериорните услови на производство дефинирани не само со врвна технологија туку и со климатизирана и чиста средина во која се извршуваат

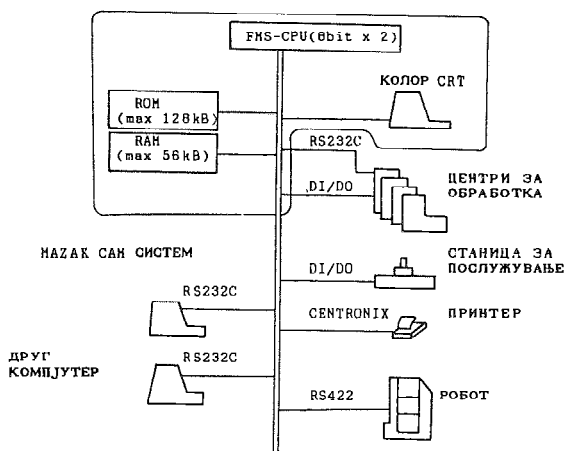
прецизните, но од решавачко значење, операции. Извонредниот развој на софтверската поддршка е решавачкиот чекор кој оваа компанија ја испула во самиот врв на новите технологии.

Очигледно е дека, базирајќи се на големото искуство во користењето на FMS технологија, Mazak гради основа за CIM концептот, иудејќи му на купувачот заокружено решение (не само солиден модуларен систем на машини, туку и сета потребна CAM поддршка). За во иднина ќе може да се очекува и преточувањето на искуство од областа на пратењето и планирањето на производството во практични (релативно евтини) софтверско - хардверски решенија за CIM концептот. Нема да изненади и развој во правец на CAD. Mazak покажува дека големото искуство на произведувач и корисник на машини и системи за флексибилна автоматизација е решавачко и за развојот на потребниот софтвер и хардвер и дека интегралниот концепт кон кој тој се движи, може да се очекува дека ќе биде "скроен" врз рационален принцип, ослободен од непотрбните усложнувања и со модулна градба. Сигурно се поставува прашањето за можноста во иднина да се сретнеме со модуларен систем на CIM концептот, погоден како за големи, така и за помали предпријатија, кој умте повеќе ќе ја приближи оваа идеја кон реалноста. Ова не значи дека денеска Mazak ги остава своите "острва на автоматизација" (FMI, FMC, FMS) надвор од комуникацијата со останатото опкружување. Напротив, снабдувајќи ја својата опрема со можностите за MAP комуникација, како и CAM системот со IGES форматот, тој обезбедува вградување на неговите "острва" во секој систем на иднината.

#### УПРАВУВАЊЕ И МОНИТОРИРАЊЕ НА FMS

Очигледно е дека управувањето во FMS е директно врзано за концепцијата и сложеноста на системот. И тука треба да се разликуваат различни нивои на комплексност. т.е. присутна е модулност и во градбата на управувањето, што зависи од степенот на комплексност на системот. И покрај тоа што често претставува еден од поголемите проблеми во создавањето FMS, управувањето по својата цена не претставува значаен дел од системот (сл.16).





Сл. 18 Компјутерскиот хардвер на MAZATROL FMS за првото ниво на управување

Компјутерскиот систем овозможува три нивоа на сложеност на работа:

На првото ниво се овозможува работа према распоредот на деловите за обработка, што го дава корисникот преку конверзациона програма. FMS компјутерот ги активира соодветните програми од CNC управувањето и го управува роботот. После извршената обработка компјутерот го враќа делот на регалот или на станицата за послужување, зависно од тоа што задал операторот.

Второто ниво, дополнително кон првото, ги подржува и: прикажувањето на начинот на стегане на делот, интелегентниот систем за управување со палетите, интелегентниот систем за управување со алатите, како и интелегентниот систем за транспорт на алатот. Овој компјутер има диск со голем капацитет за NC програмите, кои се дистрибуираат према распоредот. На ова ниво може да бидат прикажани резултатите за искористување на опремата во текот на денот или месецот.

Третото ниво, покрај можностите од второто, има можности за симулација, динамичко програмирање, можност за поддршка координатна мерна машина, како и MAP интерфејс, кој овозможува интеграција во CIM мрежа.



Нивоата 2 и 3 содржат и диск на кој можат да се сместат програмите, т.е. да се реализира DNC концепцијата.

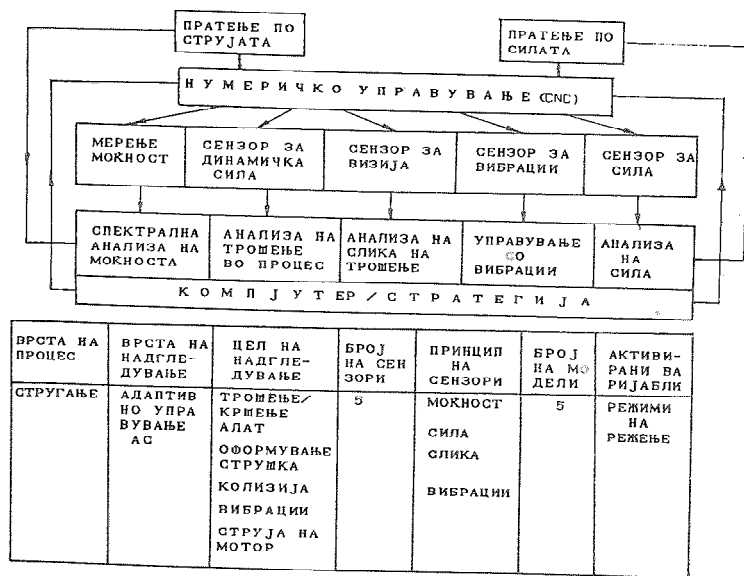
Ваквиот модуларен принцип го чини воведувањето на системот поедноставно и поекономично и воедно овозможува постепена надградба следејќи ги потребите на производството и кадровската поддршка.

И покрај значителната комплексност на постојните FMS системи сепак неможе да се каже дека е направен големиот чекор во областа на мониторирањето (следењето) на состојбата на системот при што тој се подразбира како комплекс од: машина, алат, процес, парче. Функциите на следењето се прикажани во табела 3 [37].

Табела 3 [37]

	Временски критични	Временски некритични
машина	- CNC управување - колизија	- прецизност - температурни деформации
алат	- кршење - приближување	- трајност - подесување
процес	- нестабилен - сила/момент/сила - струготина	- ладење
дотерување на алатот	- острење	- компензација
парче	- мерки во процесот - облик во процесот - квалитет во процесот	- димензии на грубо парче - материјал на парчето - интегритет на површина

Структурата од табела 3 укажува на комплексноста на проблемот, која умте повеќе се усложнува со потребата од создавање модел на мониторирањето и стратегија на одлучување. Значителни истражувања се прават во тој правец при што тие вклучуваат сензори на: сила, акустична емисија, визија, тактилни и сл. Очигледно е дека концептот на повеќесензорски и повеќемоделски систем [37] оди кон создавање висок степен на адаптивно управување (сл.19).



Сл. 19 Пример на повеќесензорски и повеќемоделски систем [37]

Во практичните изведби, конкретно кај Мазаќ изведбите, се среќава адаптивно управување по гранични големини (AGC) преку мониторирање на струјата на моторот на серво оските и главниот погон, како и користење допирни сензори за откривање на искршен алат или негова променета димензија заради тромење. Застапено е следење на трајноста преку сумирање на бројот на обработени парчиња или вкупното време на активна работа на алатот. Овие параметри служат и за замена на истрошен алат. Воедно се користи и димензионална контрола на обработеното парче (на машината или надвор од неа), со корекција во движењата. Ако се вклучи значително подобрениот квалитет и робусност на машината, може да се констатира дека и со оваквите системи се постигнуваат солидни резултати. На пазарот се нудат комерцијални изведби на сензори на сила кои се вградуваат во машината (главно во улежумтувањата), а помалку друг вид сензори. Во иднина се очекува значителен напредок во тој правец.

Према некои согледувња [37] од ефикасно расположивото време на работа на машината од приближно 10% од вкупно

расположивото време во услови на работа без мониторирање, со неговото воведување може да се очекува зголемување на тоа време и до 65%, се разбира со користење на 3 сменска работа и работа во режим без послужување.

#### МОДЕЛИРАЊЕ НА FMS

Сложеноста на современите производни системи и високите инвестициони вложувања ја поставуваат како многу актуелна задачата за нивно моделирање. Очевидно е дека спроведување на експерименти на реални системи, со учество на луѓе и со значителни инвестиции, претставува неприфатлив ризик.

Посебно големо значење имаат истражувањата, реализирани со помош на моделирање, а кои се вршат уште во фаза на проектирање на производниот систем. Со тоа се овозможува уште во почетокот да се одредат тесните грла, да се земат во обзир разни застои, како и да се определат одреден број техно - економски карактеристики (производност на системот, редови во системот, искористеност на опремата и сл.). Во случај на прецизно разработени модели можно е да се определи и потребниот број помагала, алати и друга опрема.

Посебно место во моделирањето имаат транспортните и складишните комплекси. Моделирањето на елементите на транспортниот систем овозможува не само избор на оптимални карактеристики за нивна експлоатација, туку овозможува и синхронизација и поврзување со друга технолошка опрема и системи.

Не помалку значителна е оптималната работа на поедините елементи и на системот во целина. Тука спаѓаат проблемите на оптимално лансирање на деловите; оптимално врзување на деловите за опрема; оптимално планирање и разместување на опремата; оптимален избор на технолошките патеки.

Решавачка е примената на моделирањето и во тековното производство. Со него се усовршува системот на планирање и управување, а исто така се откриваат и резервите во производството.

Треба да се одбележи дека моделирањето на производните системи има многу поголемо значење одколку што тоа го има во рамките на FMS и во тој смисол тоа е една од најсуштествените задачи во развојот на CIM филозофијата.

За моделирањето на FMS (и воопшто), се користат разни методи, кои можат да се класифицираат во две широки класи [38]:

- аналитичка
- симулациона.

Аналитичкото моделирање се базира на индиректно опишување на објектот што се моделира, со помош на математички формули. Јазикот на аналитичкото опишување ги содржи следниве групи елементи: критериуми, непознати, податоци, математички операции, ограничувања. Најсуштествена карактеристика на аналитичкото моделирање е во тоа што моделот не е структурно сличен на објектот на моделирање. Кои оваа класа се однесуваат модели изградени врз основа на математичкото програмирање и корелационата и регресиона анализа. Аналитичкиот модел е секогаш формална конструкција, која може да се анализира и реши со математички средства. Така ако се користи математичкото програмирање, тогаш моделот се состои од функцијата на целта и систем на ограничувања на променливите. Функцијата на целта, по правило, ја изразува онаа карактеристика на системот, која треба да се пресмета или оптимизира. На пример, тоа може да биде производноста на системот.

Променливите ќе ги изразуваат техничките карактеристики на системот кои се менуваат, а ограничувањата се нивните дозволени гранични вредности. Процесот, кој протекува во објектите, нема директна аналогија во аналитичкиот модел. Ваквите модели се ефикасен алат за решавање на задачите на оптимизација или пресметка на карактеристиките на производните системи. Меѓутоа во ред практични задачи примената на аналитичкиот модел е отежната заради неговата големина. Често задачата се разбива на помали целини, така што автономните решенија, на подзадачите во одреден редослед го даваат и решението на основната задача.

Моделирањето со симулација базира на директно опишување на објектот што се моделира. Со тоа се обезбедува структурна сличност на објектот и моделот. При градбата на овие модели се опишуваат законите на функционирање на секој од елементите на објектот и врската помеѓу нив. Работата со симулационите модели се состои во спроведување имитационен експеримент. Процесот, кој протечува во моделот е сличен на оној во реалниот објект. Затоа тоа всушност прставува изучување на карактеристиките на процесот. Квалитетна карактеристика при симулацијата е можноста за вклучување на времето како влезна големина, со што на моделот му дава динамички карактер.

Може да се констатира дека основна задача на симулацијата е:

- да се издвојат најсуштествените променливи, да се оцени степенот на влијание на нивната промена на истражуваните параметри на системот, а исто и да се определат "тесните грла", т.е. технолошките, организацијските или управувачките фактори кои најсуштествено влијаат на показателите на функционирањето на системот;

- да се изучува влијанието на различните организациони, управувачки и техно - економски промени на показателите на функционирање на системот;

- да се оценат различните варијанти на технички решенија и стратегии на управување при барањето оптимална структура на FMS.

Очевидно е дека аналогни задачи можат да се решаваат и со помош на аналитички модели, но симулацијата овозможува работа со поголеми модели, да се земаат ограничувања и услови, кои тешко или е невозможно да се вклучат во аналитичкиот модел, а исто така овозможува да се преставуваат резултатите на моделирањето во визуелен облик, лесно достапен за широк круг корисници. Тоа не значи дека симулацијата може да го замени аналитичкиот модел. Често таа е обемна и долготрајна. Затоа во пракса при решавањето на задачите сврзани со анализа и синтеза на FMS, обата модела се обединуваат во комплексна процедура. Со аналитичкиот модел се добива брза, но приближна процена на основните карактеристики на FMS, со што се одстрануваат најсуштествените грешки во проектот.

Се постигнува да се избалансира производноста на поедините елементи, да се избере големината на резервите и да се оформат барањата кон управувањето. Со симулацијата се определуваат сите овие карактеристики, но со поголема прецизност.

Постојат голем број комерцијални програми кои служат за моделирање дискретни процеси, кон кои спаѓа моделирањето на FMS [40,41]. Имајќи го предвид развојот на компјутерската техника и FMS, како и се поголемата потреба од моделирањето, посебно од симулацијата, треба да се посвети поголемо внимание на овој важен сегмент од развојот и експлоатацијата на FMS.

Како пример кој ќе го илустрира значењето на моделирањето на FMS во фазата на нивното прецизно концепирање, ќе се разгледа анализата на системот кој опфаќа девет центри за обработка, машина за миене и станица за послужување на системот, сите поврзани со континуален транспортен систем (од типот на конвеер) (сл.20) [16].

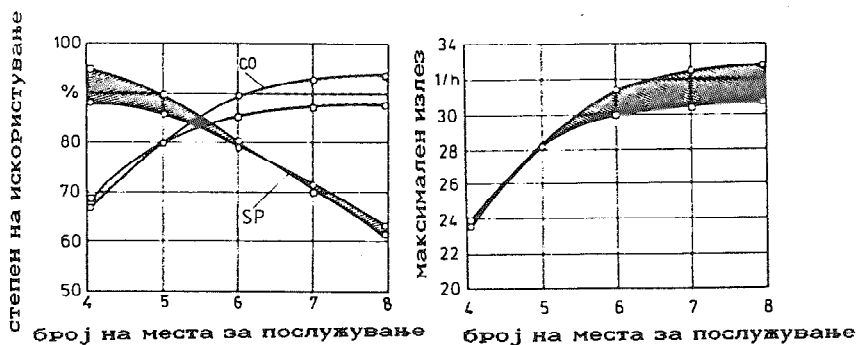
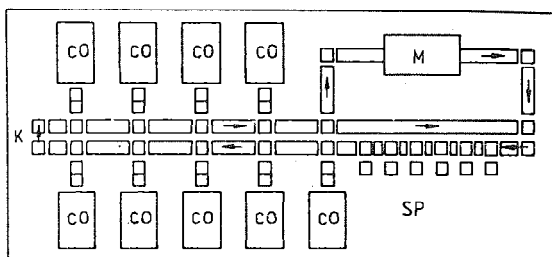
Анализата од сл.20 покажува дека се потребни седум места за послужување за да се обезбеди висок степен на искористување на центрите за обработка.

На крајот од овој кус преглед на моделирањето на FMS ќе се укаже на сложеноста и обемноста на работата која е сврзана со оваа проблематика, преку податокот [30] дека една јапонска компанија потрошила повеќе од 2 години и 100.000 човек часови проектирајќи FMS од 18 машини. Се сугерира симулациите и анализите сврзани за конфигурирањето и оправданоста на FMS системите да ги прават специјализирани компании, кои ќе ја оценат понудената опрема од страна на понудувачот, а ќе му дадат дополнителни информации и анализи на купувачот.

#### ЕДУКАЦИЈА ЗА CIM

Сигурно дека проблемот на едукација неможе да се лоцира на ниво на FMS или на кој друг елемент од компонентите што ја формираат CIM филозофијата. Изразениот акцент на интеграција во развојот на производните системи без сомнение го поставува проблемот на едукацијата многу широко, во рамките кои ги одредува CIM концептот. Врз тие основи треба да бидат градени и

концепциите на едукацијата на кадарот од областа на системското производно машинство, за да се задоволат потребите кои ги наметнува технологијата на 21 век.



- CO - центар за обработка                      o - симулација  
M - машина за миење                            □ - аналитички модел  
SP - станици за послужување  
K - конвеер

Сл. 20 *Анализа со моделирање на FMS со континуиран транспортен систем (51 различно парче; 1+2 стегана по парче; големина на серија 600 + 1130; 3 палети на секој центар за обработка; време на обработка 3,5 + 79,5 мин.)*

Тешко е во ограничен простор да се даде некаков преглед на состојбата и согледувања за нејзино подобрување. Ова е уште потешко ако се има предвид дека едукацијата би требале да го вклучува не само редовното образование низ дипломските, постдипломските и докторските студии, туку и перманентно образование на веќе дипломираните инженери, како и преквалификацијата и дооспособувањето на останатиот персонал кој

се вклучува во работата со овие системи. Многу конкретни и обстојни согледувања во тој правец се содржани во [1,42,43] и тие овде нема да се повторуваат. Она што треба да се одбележи е фактот дека едукацијата во производното машинство мора многу посилено да се сврти кон мултидисциплинарниот концепт, кој е во природата на CIM филозофијата [43]. Потребни се познавања од: најсовремената компјутерска техника, софтверското инжињерство, мрежите. Воведува нова методологија во управување со производството, базирана врз вештачката интелигенција (AI), комуникациите и компатабилноста. Истовремено му посветува внимание како на конструкцијата и иновацијата на производите, така и на нивното производство, деловната и финансијска стратегија, управување со ресурсите и сл.

Од тука и посебното значење што на ова прашање му го придава Британската влада, преку своите министерства за Образование и наука и Трговија и индустрија, кои заедно со Инжињерскиот совет објавиле во 1988 год. трогодишна програма (во вредност од 25 милиони фунти) со цел да го зголемат бројот на инжињерите кои ќе се стекнат со образование во областа на Производното системско инжињерство (Manufacturing Systems Engineering) [44]. Со оваа програма се предвидува да се отвораат околу 1500 нови места секоја година на додипломските и постдипломските студии до 1991-92 год. за студентите на производното системско инжињерство. Оваа акција е резултат на фактот дека овие кадри се основата за меѓународната конкурентност на британската преработувачка индустрија.

Препознавајќи ја оваа област како интеграција на процеси, машински системи, луѓе, организациони структури, информacionи протоци и системи на управување, британските образовни институции создаваат сосема нов, широко интердисциплинарно поставен концепт, во кој се препознаваат [University of Bradford, 45]:

#### I. ПРОИЗВОДНИ СИСТЕМИ

1. Деловни системи и производно системско инжињерство
2. Проектирање производни системи
3. Планирање и управување на производството



## II. СОВРЕМЕНИ ПРОИЗВОДНИ ПРОЦЕСИ И ТЕХНОЛОГИИ

1. Автоматизација, CIM и CAD/CAM
2. Роботи, манипулирање со материјалот, FMS и FAS
3. Процесирање на материјалот

## III. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПОДДРШКА

1. Компјутерски системи и комуникации
2. Управување со компјутери, инструментација и поврзување
3. Моделирање, симулација и експертни системи

## IV. РАБОТА НА ПРОИЗВОДНИ СИСТЕМИ

1. Информацијски системи за деловно одлучување и финансијско управување
2. Водење проекти и раководење
3. Квалитет, поузданост и одржување.

Одбележувајќи ја актуелната состојба во образованието Melkanoff [42] забележува: "Потребите на индустријата и академските институции се често спротивставени имајќи го во предвид образованието во инжињерството. Индустријата бара инжињери кои ќе ги разбираат и решаваат проблемите на реалниот свет, додека академските институции инсистираат на фундаменталност. Бидејќи индустријата, во моментот, знае повеќе од академските институции, постои тенденција за оријентирање на програмата кон индустријските барања. Го прифаќам овој пристап како привремен, но верувам дека е многу потребно да се развие формален пристап кон производното машинство, на што всушност сериозно работат во поедини академски средини".

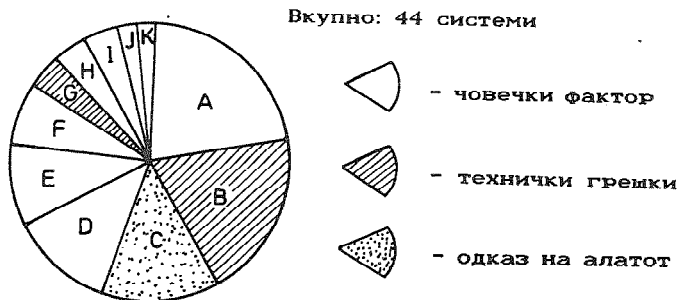
### *ИСКУСТВА ОД ПРИМЕНАТА И СУГЕСТИИ ЗА ВОВЕДУВАЊЕТО НА FMS*

Нема многу истражувања од кои се презентирани резултати за искористеноста на FMS. Затоа на оние, прикажани во [1], треба да им се посвети посебно внимание и заради фактот дека опфаќаат прилично голем број инсталации кои работат во Јапонската индустрија.

На сл.21 даден е приказ на причините за застои во истражуваните FMS. Се заклучува дека човечкиот фактор е причините за овие застои во околу 85%. Операторските грешки се причина во 60% случаи и вклучуваат: погрешно поставен алат,

грешки во кодирање на палетите и слабо стегнати делови. За 25% од застоите причината е во инжињерските пропусти, како што се грешки во NC програмите и лош избор на режими или резен алат. Одкажувањето на алатот кое се очекувало да биде клучен фактор, предизвикало само 15% од застрвите. Следуваат следниве сугестии од анализата:

- FMS треба да се снабдат со можности со кои ќе се верифицира или потврди рачната работа,
- да се подготви подобра инжињерска симулација и контрола на NC програмите.



Сл. 21 Главни причини за одкажување на FMS [1]

Развојот на флексибилната автоматизација оди кон се поголема нејзина примена и во оние производства кај кои доминирале специјалните изведби со крута автоматизација. Дури и во автомобилската индустрија, која спаѓа во индустриите со масовно производство, се среќаваат производи кои се произведуваат во помали количини. За нивно производство се повеќе ќе се проектираат FMS од типот на трансфер линиите, чиј такт на работа е во пределите од две до пет минути. Во таквите случаи постојат построги барања кон производната опрема заради поголемиот број на повторувања на операциите во однос на другите системи. Грубата процена на причините за откажување на некои вакви системи [1] покажува дека дури 60% од грешките се резултат на грешки во конструкција и во монтажа на машините. Се констатира потребата од усовршување на конструкцијата на машините кои ќе се вградуваат во системите, обезбедувајќи им поголеми брзини, прецизност, надежност.

Препораките кон оние кои се подготвуваат да навлезат во користењето на FMS, кои произлегуваат од обемената студија на ООН [21], укажуваат на целата суштина на проблемот:

1. Одлуката за инвестирање во FMS треба да е интегрален дел од широкиот зафат за прифаќање нови организациони и принципи на управување за целото претпријатие. Воведување на FMS заради решавање парцијален производствен проблем, без предходна анализа како тоа ќе влијае на меѓузависните секции на целиот процес, најверојатно ќе резултира со субоптимизација - проблемите ќе се пренесуваат од еден на друг сегмент на производството. Инвестирањето во FMS е стратешко решение за целото претпријатие.

2. За успешно воведување и функционирање на FMS, од големо значење е активирање на сиот персонал во претпријатието. Ова активирање треба да одпочне уште во фазата на планирањето. Значаен предуслов за тоа е стекнување соодветни знаења, уште пред да биде инсталиран системот. Одлуката за инвестирање во FMS треба да е пропратена со обучување на различни видови персонал за новата технологија. Една од целите на ова обучување е прифаќање од страна на персоналот на "FMS начинот на размислување", потребен не само за воведување на FMS, туку и прилагодување на сета организација кон нив.

3. Искуствата покажуваат дека е тешко да се измерат и квантифицираат многу од потенцијалните предности од воведувањето на FMS. Во тој смисол постои потреба од развој на нов систем за пресметка на периодот на отплата на вложувањата.

4. Многу од првите FMS, кои се сеуште во работа, се правени по специјално барање на корисникот. Ова води кон непотребно висока цена на развојот и кон сериозни проблеми на некомпатабилност кога ќе се оди на проширување на системот или негово поврзување со други системи. Во овој смисол, сеуште реткоприсутната стандардизација и модуларност на сите механички, електронски, софтверски и комуникациски елементи на FMS е од витално значење за натамошната дифузија на овие системи.

5. Проблемите кои се јазуваат со воведувањето и работењето на FMS не се вообичаено резултат на технички недостатоци, туку заради неадекватното планирање и организација.

6. Доколку се очекува системот да работи со ограничен персонал или воопшто без персонал и доколку се бара од него производство со висок квалитет и во мали серии, потребен е висок степен на: сензорски ориентирани функции, софтвер и комуникациони можности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Toshio S.: Approaches to Highly Integrated Factory Automation. Software for Discrete Manufacturing. IFIP 1986.
- [2]. Spur G. Specht D.: Computer Integrated Manufacturing in Futur Factories. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol.3, No.2, pp 147-155, 1987.
- [3]. Through MAP/TOP to CIM.
- [4]. Royer M.: ESPRIT. Panel 2. Software for Discrete Manufacturing. IFIP 1986.
- [5]. Audy J.: Communication in CAD/CAM systems. Panel 3. Software for Discrete Manufacturing IFIP 1986.
- [6]. Thorn R.: Is the CIM message in your network? Metalworking Production. October 1987.
- [7]. Page M.: Try the Renishaw route throught the MAP maze. Metalworking Production. November 1987.
- [8]. Phillipson B.: ESPRIT's progress is encouraging but slow. The FMS Magazin. January 1986.
- [9]. Page M.: PC's put CAD/CAM on line to all Metalworking Production. March 1987.
- [10]. Yo Shikawa H.: International cooperation in Japan. Software for Discrete Manufacturing. IFIP 1986.
- [11]. Weck M., Kohen E.: Configurable Control Software for FMS. Software for Discrete Manufacturing IFIP 1986.
- [12]. Csuragai G., Kovacs V., Laufer J.: A Generalized Model for Control and Supervision of Unmanned Manufacturing Cells. Software for Discrete Manufacturing IFIP 1986.
- [13]. Spur G., Mertinis K., Viehweger B.: Research and Prospect in CAM. Software for Discrete Manufacturing. IFIP 1986.
- [14]. Melkanoff M.: Education for Intelligent Manufacturing Systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. V3N2.1987
- [15]. Duffie N., Piper R.: Non-hierarchical Control of a Flexible Manufacturing Cell. Robotics and Computer - Integrated Manufacturing. V3 N2.1987.
- [16]. Seliger G., Viehweger B., Wieneke B.: Decision Support in Design and Optimization of Flexible Automated Manufacturing and Asembly. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. V3N2.1987

- [17]. Sauve B., Collinot A.: An Expert System for Scheduling in a Flexible Manufacturing System. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, V3 N2, 1987.
- [18]. Hartly J.: FMS at Work. IFS, 1984 (перевод на русский. Машиностроение. Москва 1987).
- [19]. Макаров И. М. ред.: Системные принципы создания гибких автоматизированных производств (книга 1). Высшая школа. Москва 1986
- [20]. Козыров Ю. Г.: Роботизированные производственные комплексы. Машиностроение. Москва 1987.
- [21]. Kochan A.: United Nations examines recent trends in FMS. The FMS Magazine. April 1986.
- [22]. Kochan A.: FMS, an international overview of applications. The FMS Magazine. July 1984.
- [23]. Чундев С., Дуковски В.: Индустријски роботи. Студентски збор. Скопје 1984.
- [24]. Visiting FMS plants. Metalworking, May 1983.
- [25]. Pressworking technology update. Robots add values to an FMS. Metalworking, May 1983.
- [26]. Interim report on "Flexible Manufacturing Systems Complex Provided with laser". Metalworking, May 1983.
- [27]. Special reports on applications of FMS technology. Metalworking, September 1981.
- [28]. An approach to the "factory automation" age. Metalworking, March 1983.
- [29]. S. Kobayashi (editorial): Expectation and doubts on the "FMS" boom. Metalworking, March 1983.
- [30]. Phillips E.: FMS: Advantages, Problems, Opportunities. Mechanical Engineering. June 1985.
- [31]. Paprocki J.: FMS-automating the factory. Mechanical Engineering. October 1984.
- [32]. MAZAK Flexible Manufacturing Systems. Mazak Corporation.
- [33]. MAZATROL FMS. Mazak Corporation.
- [34]. Проспектни материјали на Mazak Corporation.
- [35]. Mazak News. No 5, September 1988.
- [36]. GE Fanuc Automation. Press Information. EMO-7. Milano 1987
- [37]. Tonshoff H. i dr.: Developments and Trends in Monitoring and Control of Machining Processes. CIRP Annals 1986.
- [38]. Макаров И. М. ред.: Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств. Робототехника и гибкие автоматизированные производства (кни. 5). Высшая школа. Москва 1986
- [39]. Митрофанов С. П. ред.: Организационно-технологическое проектирование ГПС. Машиностроение. Ленинград 1986.

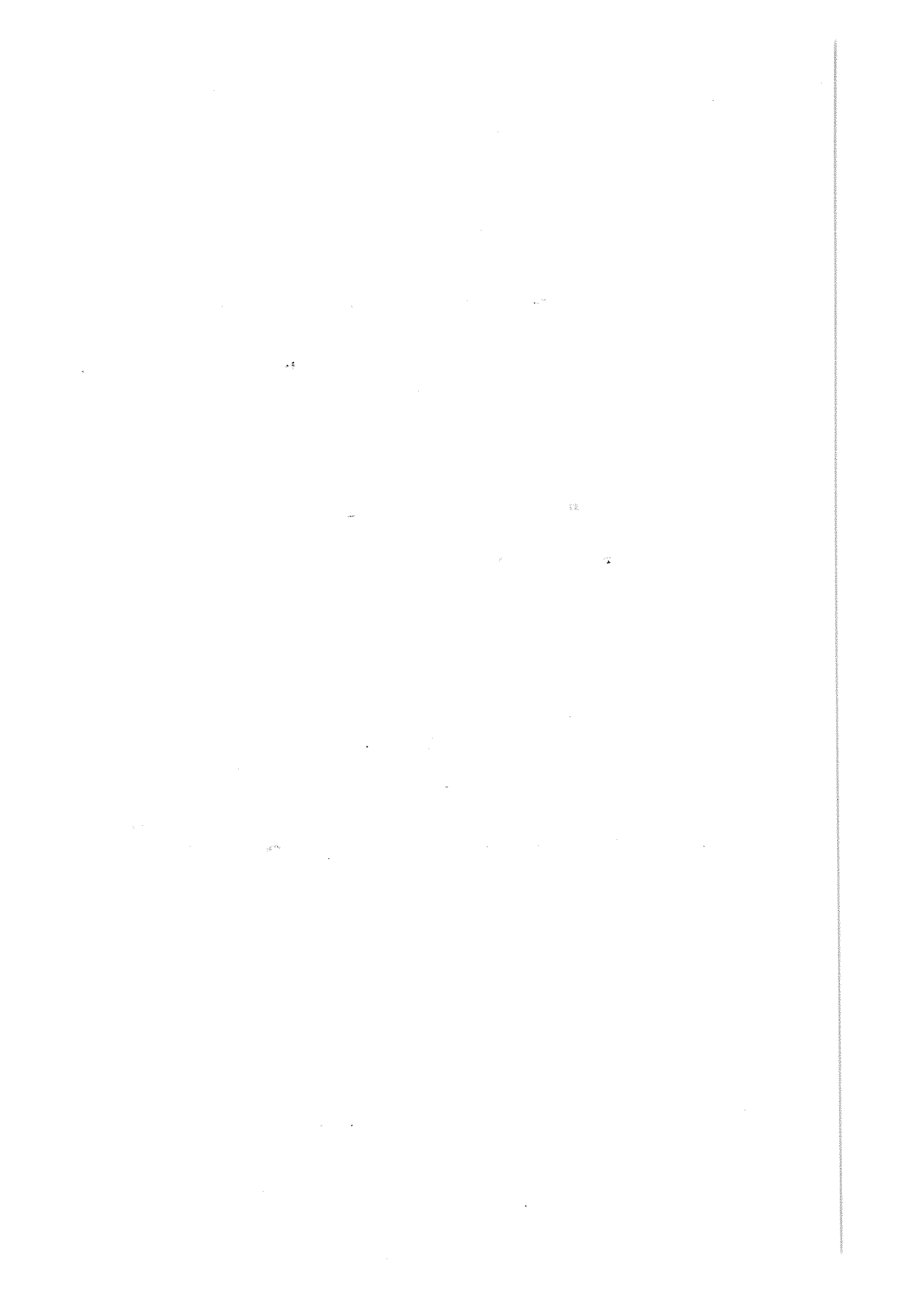
- [40]. Ma X.: Computer Simulation in Manufacturing Environments. Department of Mechanical and Manufacturing Systems Engineering. Internal report. University of Bradford. Bradford 1988.
- [41]. Ma X.: A survey on Several Discrete-Event Simulation Software Tools. Internal report. Department of Mechanical and Manufacturing Systems Engineering. University of Bradford. Bradford 1987.
- [42]. Melkanoff M.: Education for intelligent manufacturing systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.3/2.1987
- [43]. Crookall J.: Education for CIM.CIRP Conference.Belgrad1987
- [44]. New 25 Million Boost for Manufacturing Systems Engineering. Department of Education and Science. G.Britain. News. April 27 1988.
- [45]. Проспекти за додипломски и постдипломски студии на: University of Birmigham, UMIST, University of Warwick, Loughborough University of Technology, University of Bradford, G.Britain.

V.Dukovski

FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS (FMS)  
a challenge of present days

This paper gives a short introduction to CIM concept, as a fundamental philosophy for the Factory of the future. The communication and compatibility problems are pointed out and the international efforts to solve these problems are presented.

The FMS subject is introduced with the definitions of FMS and the motives for investment in FMS. Also is included overview of the FMS diffusion and benefits from the implementation. Some recent trends in FMS hardware, control, monitoring and modeling are part of the presentation. Attention is paid on education for CIM. Industrial experience and suggestions related to introduction of FMS are presented in the concluding remarks.



V. R. Milačić\*

CIM - STRATEGIJA ZA NOVU GENERACIJU FABRIKA

- kvalitativna analiza -

1. UVODNA RAZMATRANJA

Kada se govori o kompjuterski integrisanoj tehnologiji (CIM - konceptu) onda se nudi čitav niz praktičnih pristupa za njegovu realizaciju. Praktični koncepti su rezultat nepostojanja teorijskog pristupa. Strateška opredeljenja su se menjala od 1975. godine kada je naveden ovaj koncept do današnjih dana. Praćenje istorijskog razvoja filozofije CIM-koncepta ukazuje na neophodnost istraživanja kvalitativnih aspekata ove industrijske transformacije. Neko može da smatra kao novom industrijskom revolucijom u domenu tehnoloških promena. Verbalna klasifikacija ovih promena nije od suštinskog značaja već koje se kvalitativne promene odigravaju.

Ukoliko želimo da istaknemo značaj ovih promena i posebno kvalitativni skok koji se odigrava onda je neosporno potrebno navesti Tejlorizam kao koncept dekomponovanja i CIM-izam kao koncept komponovanja.

Na prvi pogled ovo su dva inverzna procesa, ali u svojoj suštini oni nude dijametralno različite kvalitativne sadržaje tehnoloških sistema. Ako učinimo vrlo grubo upoređenje ova dva koncepta prema četiri osnovna parametra imamo sledeću tablicu stanja:

PARAMETAR \ KONCEPT	TEJLORIZAM	CIM - izam
. integracija	veštački definisana (ne postoji)	maksimalna
. fleksibilnost	krut sistem	fleksibilan sistem
. koordinacije	veštačka	prirodna
. inteligencija	ne postoji	uvodi se

Svaki od navedenih parametara ima zapravo vrlo složeno učešće u izgradnji CIM-

\* Dr Vladimir R. Milačić, dipl. inž. maš., red. prof. Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu



-sistema. Druga grupa problema se odnosi na definisanje samog značenja CIM-sistema. Da li je to neki koncept ili i fizički koncept. Kao pomirenje ovoga je da je to neka strategija. Na današnjem nivou razvoja i posedovanja znanja treba se privoleti definiciji koja se odnosi na strategiju.

Kako je ovo naučno i inženjerski dinamička oblast postavlja se problem koliko kompleksno može da se ide sa problemom inteligencije.

Već se nekoliko godina govori i istražuje oblast inteligentnih tehnoloških sistema i kao daljeg razvoja CIM-koncepta. To znači da četvrti parametar - inteligencija je od posebnog značaja.

Na temu revitalizacije domaće industrije kao i novih koncepata složenih tehnoloških ili vrlo generalnih projekata koje čovek promoviše ili u njima učestvuje data su neka osnovna razmatranja u /1, 2/.

U ovom radu se čini napor da se sprovede kvalitativna analiza CIM-koncepta ali i ITS-koncepta a sve u cilju istraživanja kvalitativnih parametara za njihovu izgradnju.

## 2. INTELIGENTNI TEHNOLOŠKI SISTEMI

U cilju analize ITS - koncepta neophodno je istražiti četiri osnovna parametra koje definišu ovu strukturu:

$$ITS = \langle I, F, K, In \rangle$$

Svaki od ovih članova navedene četvorke ima vrlo složeno značenje. Ovde nije namera da se izvrši njihova kompleksna analiza, već da se navedu samo neke od njihovih karakteristika, ali i kvalitativnih karakteristika.

### 2.1. Integracija

Čovek kao gospodar svih događaja je uvek težio individualnosti ali i integraciji. Individualnost je služila kao polazna tačka njegovom cilju koju je induktivno osećao i zove se integracija. Tako je čovek uvek bio i jeste u suštini individualista, samom činjenicom da nije mogao sam, vrlo rano je shvatio neophodnost integracije u različitom obliku ali i u širokom dijapazonu sadržaja. Ovo ponašanje čoveka nije slučajno. Naime, težio je integraciji ljudi u vrlo različitim oblicima, ali je proizvođači mašine činio napor da sprovede njihovu integraciju. Čovek u nemogućnosti da sve drži pod svojom kontrolom čini napor da jedan deo od tog sadržaja prenese na treću generaciju svog proizvoda na mašine. Prvi korak je da prenese mašinama svoju sposobnost izvođenja nekih operacija. Ovde su se mašine kao produkt čovekovog uma i mišica pokazale nesumnjivo superiornim. Ovladavajući prostorom energetske i materijalne integracije

čovjek je uočio da je neophodno sprovesti i informacionu integraciju. Tako je došao do mašine - kompjutera koja u osnovi ima za zadatak izvodenje integralnog iskazivanja potrebnih informacija za donošenje odluka. Pronalaskom ove mašine nastaje po prvi put ulazak na "mala vrata" čovekovog misaonog procesa preko informacionih sadržaja. Tada postaje jasno da su informacije sredstvo za integraciju tehnološkog sistema. Tako dolazimo do stvaranja različitih struktura baze podataka za ostvarenje osnovnog cilja a to je rešavanje odredjenih problema u jednom tehnološkom sistemu. Ovaj proces se odvijao korak po korak. Navode se neki od modela organizacije baze podataka za izvršenje nekih od zadataka.

Prvi korak je formiranje nekoliko nepovezanih, nezavisnih i specijalizovanih baza podataka. Osnovni nedostaci ovog pristupa su: koordinacija, razmena podataka izmedju pojedinih baza podataka - konzistentnost informacija pošto se koriste iz različitih izvora.

Poboljšanje prvog koncepta je moguće ostvariti preko serviseri za centralizovane ali samostalne baze podataka koje omogućuju smanjenje potrebne memorije i korišćenje podataka na bazi deljenja. Ovaj koncept i dalje ima ograničenje efikasnosti i smanjenje pouzdanosti.

Uvodjenjem hijerarhijske strukture i adekvatne distribucije informacija imamo potrebu za definisanje lokalnih mreža koje opslužuju nezavisno na lokalnom nivou, dok na višem nivou imamo globalan pristup na bazi replike (uzorkovanja) kao i upravljanja na bazi istovremenog dogadjanja. I u ovom konceptu pouzdanost i efikasnost ostaju kao problem.

Na današnjem nivou u proces integracije uvodi se veštačka inteligencija. Uočava se da za tehnološke sisteme razvijene konvencionalne relacije baze podataka nisu dovoljne. Razlog nedovoljnosti treba tražiti u definisanju vremena u tim bazama podataka kao i njihovu hijerarhijsku strukturu. Tako da se javlja dilema za neophodnost uspostavljanja novih struktura kao što su:

- . centralizovan i nehijerarhijski pristup, i
- . ne-centralizovan i nehijerarhijski pristup.

Ovaj drugi pristup omogućuje veću fleksibilnost kao i veći nivo koordinacije (istovremenost odigravanja dogadjaja), dok se smanjuje efikasnost rada sistema ali i težu primenu samog sistema. To znači da na ovom nivou imamo uvodjenje inteligencije sa ciljem integracije tehnološkog sistema, ali na bazi znanja. To znači da razumevanje na ovom stadijumu razvoja nudi mogućnost izgradnje inteligentnih tehnoloških sistema. Pošto je znanje sastavni deo inteligencije to će se u tom odeljku razmatrati.

## 2.2. Fleksibilnost

Fleksibilnost je čoveku svojstvena. I to je na neki način mera njegove nesavr-

šenosti. Ovo je čovek delimično preneo na mašine, ali se je trudio da ovu svoju nesavršenost ne prenese na samu mašinu. Tako se trudio da proizvede savršen mehanizam. Mera čovekove savršenosti se ogleda u egzatnosti iskazivanja njegovog poimanja prirode kao što je prostor i vreme za koje se uvek trudio da izgradi i odgovarajuće mašine. Mašina za merenje vremena je časovnik.

Ovu egzaktnost u računanju čovek je težio da sprovede na sve druge mašine koje je konstruisao. Sigurno da je to bilo praktično nemoguće, tako da se uvodi pojam tolerancija. Tolerancije su pojam koji legalizuje postojanje fleksibilnosti u mašinama i svemu onome što te mašine proizvode. Prelazeći na automate kao novu generaciju mašina čovek težeći savršenom radu ovih mašina je prinudjen da promovise "tvrdu" automatizaciju koja pretpostavlja strogu regitivnost ali i krutost u pogledu skupa operacija koje se izvode. Ovo daje privid uspešnosti ljudskog uma, ali s druge strane pretpostavlja suženost prostora varijabilnosti i visoku cenu za realizaciju.

Uvodjenje pojma fleksibilnosti tehnoloških sistema radikalno menja ovaj pristup. Tako dolazimo do opšte i lokalne fleksibilnosti sistema, a sve u cilju otklanjanja privida uspešnosti uvođenja operacija i minimizaciju ukupne vrednosti sistema kod ljudi maksimizaciju ukupne vrednosti proizvoda. Ovo je sasvim novi koncept.

Druga dilema je razvoj visoke automatizacije sa visokom fleksibilnošću. Fleksibilnost i automatizacija su obrnuto proporcionalne u postojećoj logici izgradnje mašinskih sistema. To znači da je potreban novi koncept a s tim i nova generacija tehnoloških sistema.

### 2.3. Koordinacija

CIM je supersložena struktura koja pretpostavlja postojanje raznih modela koordinacije. U opštem slučaju koordinacija može da se razmatra za slučaj hijerarhijske i heterarhijske strukture. Ovome treba dodati da ove strukture mogu da se odnose na funkcionalnu i informacionu strukturu CIM-koncepta.

Druga dimenzija koordinacije odnosi se na razne vrste fizičkih objekata kao što su: mašine alatke, roboti, robokolica, magacinski prostori, itd. Znači, polazeći od ovih fizičkih jedinica pa do nivoa integralnog sistema ukazuje na izuzetnu složenost fizičkih i modelskih struktura u jednoj CIM-strukturi. Ovdje nisu spomenute inženjersko-administrativne aktivnosti i njihova koordinacija.

Nesumnjivo ova koordinacija projektantskih inženjerskih aktivnosti, administrativnih aktivnosti i izvodjačkih aktivnosti pretpostavlja razvoj odgovarajućih protokola ali i fizičkih jedinica za komunikaciju na razni medijeva ukupne strukture sistema.

## 2.4. Inteligencija

51

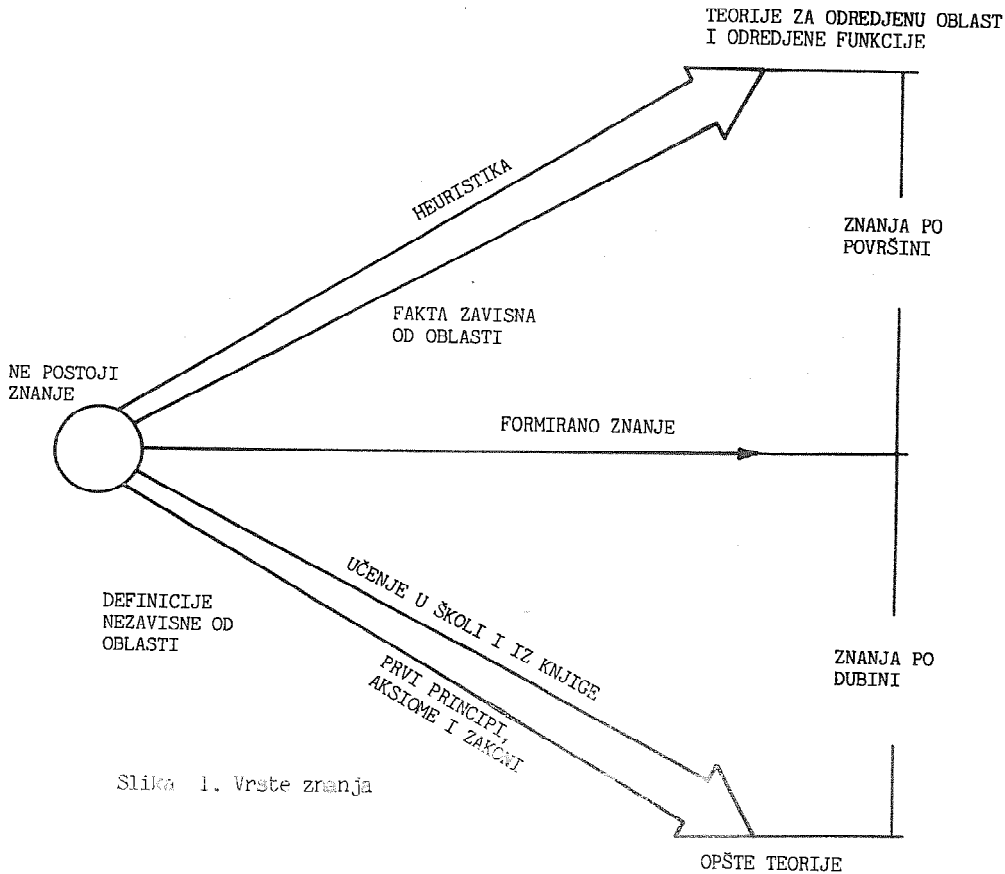
Tako je inteligencija koja se odnosi za kompjuterski integrisane tehnološke sisteme (CIM-sistem) za sada nedovoljno istražena, očigledan je uticaj ovog parametra na valorizaciju ovog sistema. Ovaj parametar je izuzetne složenosti tako da se ovde navode samo neki elementi.

Ako se krećemo iz tačke u kojoj ne postoji znanje onda je moguće uspostaviti dve magistrale za formiranje znanja:

- . heurističko znanje, i
- . znanje na bazi učenja.

Heurističko znanje se odnosi na poznatu oblast i obuhvata odgovarajuća znanja kako bi se formirale odgovarajuće teorije za određenu oblast ali na bazi znanja koje se može smatrati površinskim za ovu oblast kao i uopšte.

Drugi pravac formiranja znanja su generalne prirode i baziraju na učenju a sa ciljem da se utvrde principi, aksiome i odgovarajući zakoni kako bi se formirale opšte teorije. To znači da se po ovoj liniji stvaraju znanja po dubini (slika 1).



Slika 1. Vrste znanja

Ova dva pravca zapravo predstavljaju celinu u izgradnji inteligentnih tehnoloških sistema.

### 3. KVALITATIVNA ANALIZA CIM-KONCEPTA

U cilju sprovođenja kvalitativne analize CIM-koncepta izabran je izverzan metod. Naime, polazi se od očekivanih efekata CIM-strategije i njihove analize. U /3/ navedeni su sledeći efekti uvođenja CIM-koncepta:

. smanjenje troškova inženjerskog projektovanja	15 - 30 %
. smanjenje ukupnog vremena isporuke	30 - 60 %
. relativno povećanje kvaliteta proizvoda u odnosu na prethodno	2 - 5 puta
. povećanje sposobnosti inženjera za analizu u istom ili kraćem vremenu po širini i dubini problema	3 - 35 puta
. povećanje pouzdanosti proizvodnih operacija	40 - 70 %
. povećanje produktivnosti (operativnog vremena) kapitalne opreme	2 - 3 puta
. smanjenje poslova u toku	30 - 60 %
. smanjenje troškova osoblja	5 - 20 %

Navedeni kvantitativni pokazatelji mogu da posluže i kao kvalitativna analiza. Nije namera da se svaki od ovih pokazatelja analizira. Učinićemo izbor samo onih koji su najsignifikantniji.

Prvi od impresivnih pokazatelja je nesumnjivo onaj koji govori o povećanju sposobnosti inženjera za analizu postavljenog mu zadatka. Postojeća logika inženjera je "prvo rešenje najbolje rešenje". Ne zbog toga što se radi o površnim ljudima, već zbog toga i to prvo izabrano rešenje problema pretpostavlja masivan rad koji je praktično teško savladljiv. Imajući na umu da je inženjer obrazovan tako da racionalnim procesom razmišljanja dolazi do praktičnih rešenja na bazi postavljenog zahteva, a u datom vremenskom intervalu. Amplifikacija procesa mišljenja kao i samog procesa računanja otvara mogućnosti za istraživanje po širini i po dubini mogućih rešenja za postavljeni problem. Ovim se zapravo razbijaju ograde inženjerskom raspoloživom ukupnom kapacitetu ali i načinu razmišljanja i on sve više ulazi i u domen naučnog pristupa rešavanju zadatak problema. To omogućuje da dodje do daleko kvalitetnijeg rešenja na bazi varijabilnosti rešenja. Ova granica rasudjivanja je vrlo pliniminarna. Naime, uvođenjem veštačke inteligencije kao novog prisutpa čitavom nizu problema i pitanje inženjerskih aktivnosti dobija neslućene mogućnosti. Znači, inženjerstvo znanja za potrebe inženjerskih aktivnosti otvara novu eru u razvoju tehnoloških sistema koji se zasnivaju na CIM-konceptu i ITS-konceptu.

To znači da iz prostora rigidne strukture znanja kojom se služi inženjer (entropija znanja i rešenja je praktično nula) prelazimo u novi prostor u kome je oslobodjena intuicije i kreativnost inženjera (gde je entropija maksimalna). Ovdje dolazimo do izrazito složene veštačke strukture razmišljanja koju je inženjer izgradio ali je i koristi za rešavanje postavljenog problema. Mehanizam razmišljanja i zaključivanja ovdje se ne razmatra, već je namera da se ukaže na potencijal u ovoj oblasti za novi skok u projektovanju i izvođenju inženjerskih proizvoda.

Drugi pokazatelj se odnosi na relativno povećanje kvaliteta proizvoda. Kvalitet proizvoda je zapravo sintetički pokazatelj sveukupnosti koja proizilazi iz inženjerske, proizvodne i eksploatacijske aktivnosti. Ovo je primer katastrofalnog skoka iz postojećeg u novo stanje koji je jedino moguć ako se ostvari čitav niz uslova. U CIM-konceptu to nije ništa drugo do integracija hardware i software strukture ali i njihovo finije strukturisanje.

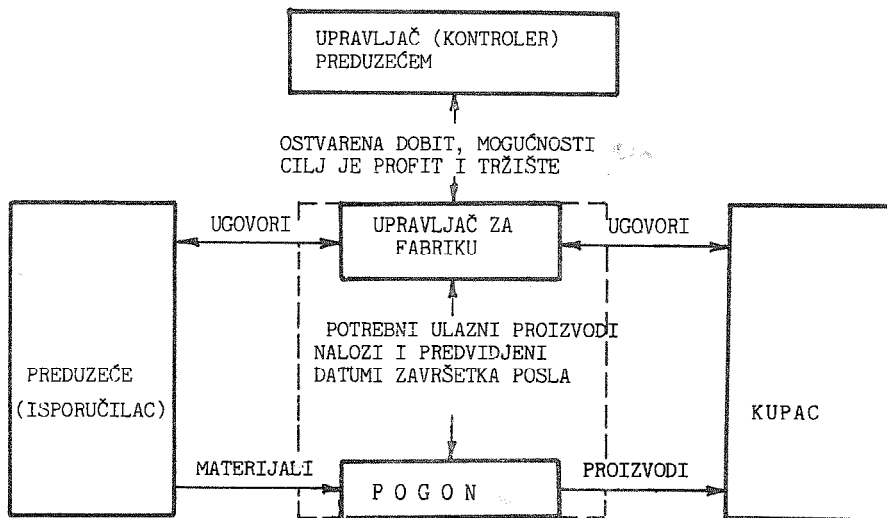
Treći pokazatelj se odnosi na povećanje produktivnosti kapitalne opreme. Stalno insistiranje na iskorišćenju radne snage imajući u vidu da je time i definisano iskorišćenje opreme proizilazi iz zablude da su radnici pridodati mašinama. To je u suštini logika tejlorizma. Razdvajanje radnika i mašine u prostoru i vremenu otvoreno je primenom CIM-koncepta. Ali ovo znači da je neophodno generisanje nove generacije mašina alatki ali i integrisanih fleksibilnih tehnoloških sistema.

Ostali navedeni parametri mogu da se podvrgnu sličnoj analizi. Treba istaći da i njihov uticaj na promenu stanja je vrlo značajan. Samo kao primer se navodi smanjenje poslova u toku. Za realizaciju ovog segmenta neophodno je izgraditi novu strategiju planiranja proizvodnje koja može da se svrsta u strategiju baš-na-vreme (JIT-strategiju).

#### 4. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Koncept CIM može da se shvati kao kompleksna strategija odnosa između kupca i isporučioća dobara kupcu. Iako je poznat njihov odnos u prošlosti, vremenom se taj odnos značajno promenio a u budućnosti te promene će biti još značajnije. Mogući model ovog odnosa sa istaknutom upravljačkom funkcijom dat je na slici 2. Slika pokazuje jasno odnos kupca i isporučioća (preduzeća) kao i njihove veze. Ono što se ovdje ne vidi dovoljno jasno jesu nivoi upravljanja kao i odgovarajući interfejs za svaki od slojeva ovog upravljanja. Moguće je identifikovati sledeće nivoe upravljanja: preduzeće, fabrika, pogon, radna ćelija, radna stanica, automatizovan modul, mašina, uređaj i senzor ili aktuator.

Očigledno se radi o vrlo složenoj strukturi. S druge strane, ovdje treba



SISTEM ZA TEHNOLOŠKO  
PLANIRANJE I UPRAVLJANJE

Slika 2.

imati na umu hardware i software strukturu. Ili unutar software strukture treba razdvojiti informacionu strukturu od strukture znanja. Time se zapravo približavamo izgradnji sistema koji je knowledge-driven system (sistemi koje pokreću znanje) za razliku od dosadašnjih data-driven systems (sistemi koje pokreću podaci). Ovaj prvi je zapravo predmet naših razmatranja u projektu "Inteligentni tehnološki sistemi" koje finansira RZN SR Srbije, a podprojekt je deo i jugoslovenskog projekta "Fleksibilne proizvodne tehnologije i fleksibilne automatizovane fabrike".

REFERENCE:

- /1/ Milačić, R.V., Revitalizacija domaće industrije prerade metala, IT-novine SITJ, Beograd (1988)
- /2/ Milačić, R.V., Nove nauke i tehnologije za fabrike budućnosti, JUPITER-konferencija, Cavtat (1989)
- /3/ Chiantella T., edt., Management Guide for CIM, SME, Michigan (1986)

CIM - STRATEGY FOR THE FACTORY OF THE FUTURE  
- Qualitative Analysis -

S u m m a r y

The paper considers some basic problems like integration, flexibility, coordination and intelligence in CIM - strategy. Entropy is offered as a measure for the factory of the future, as well.

B. Milčić\*

## TVORNICA BUDUĆNOSTI

### 1. UVOD

U zadnjih 20 godina struktura proizvodnje alatnih strojeva značajno se promjenila. Ne samo da su novi pojmovi kao CAD, CAM, CAPP značajno promjenili sadržaj i razvoj, već su značajno povećali dinamiku odvijanja procesa u pripremi i proizvodnji. Razvojem i primjenom fleksibilne automatizacije, kao što su fleksibilne obradne stanice, fleksibilni obradni sistemi, fleksibilni proizvodni sistem, fleksibilni sistemi za automatiziranu montažu, utjecali su značajno na iskorišćenje suvremenih alatnih strojeva i opreme radom u 3 smjene i preko tjednog odmora. To su suštinske promjene, koje su dovele do popularnog japanskog principa u proizvodnji poznatog po nazivu "JUST-IN-TIME". Uspješno je ostvarena ideja da se proizvode i veoma složeni dijelovi i proizvodi u gotovo pojedinačnoj proizvodnji sa visokim stupnjem automatizacije. Te inovacije morale su utjecati na organizaciju i proizvodnu tehnologiju u tvornicama alatnih

---

\* / B. Milčić, dipl.ing.: direktor je RO Istraživanje, razvoj i informatika  
SOUR "PRVOMAJSKA", Zagreb, Žitnjak bb



strojeva. No, isto tako se značajno promjenio zahtjev za nivo kvalifikacije kadrova u proizvodnim organizacijama i sve više se približava zahtjevima znanstvenika visokih kvalifikacija.

Vodeći timovi trebaju biti sastavljeni od stručnjaka različitih specijalnosti, koji moraju biti osposobljeni da uspješno rade na interdisciplinarnim zadacima i spremni na sve izazove koje im nudi nova tehnologija i znanost. Svi kadrovi moraju biti spremni na permanentno obrazovanje, jer zaostajanje u tom pogledu samo od godinu dana već može biti kobno i nenadoknдиво.

## 2. INTEGRALNO UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM

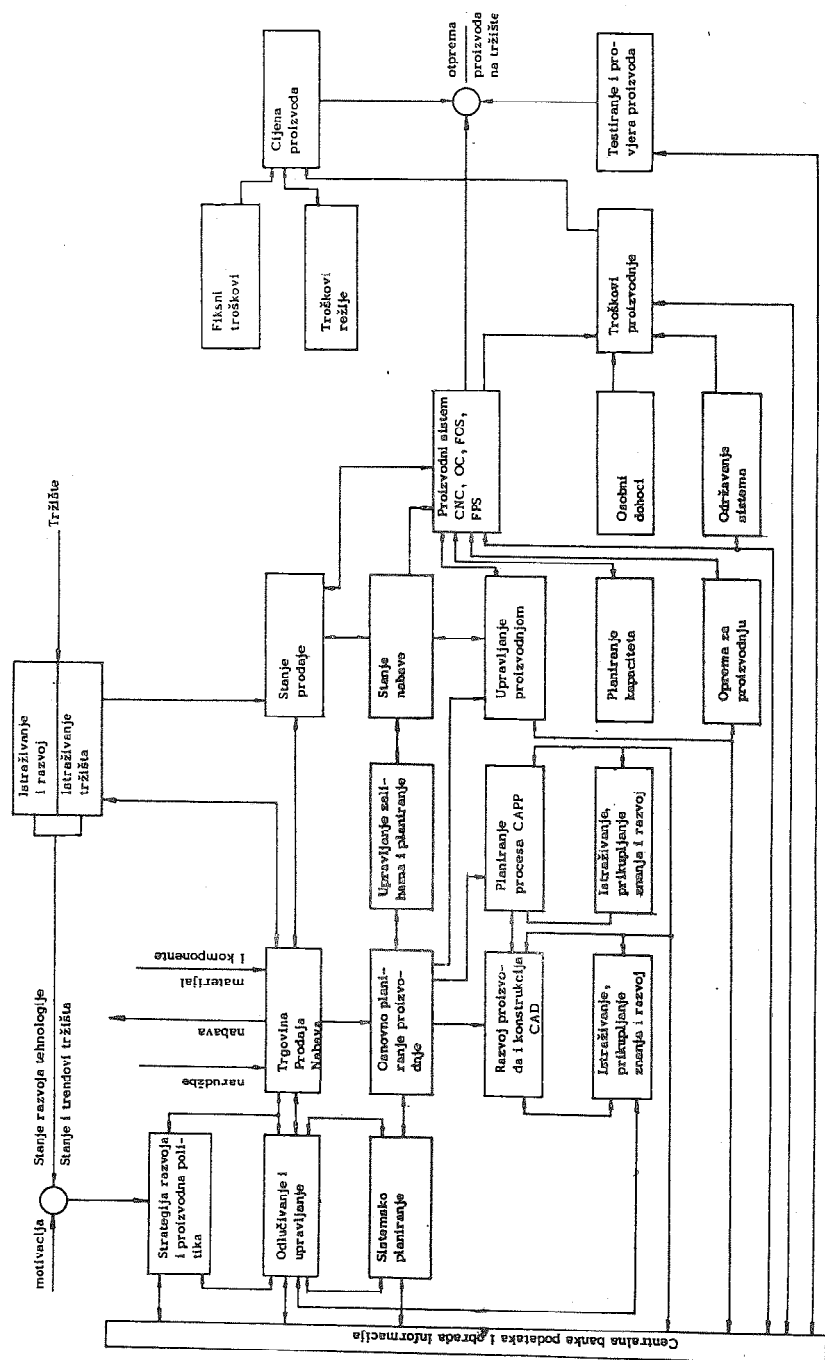
Integralno upravljanje proizvodnjom, korak je vjerojatno do pune realizacije "Tvornice budućnosti". Pojavom numerički upravljanih alatnih strojeva, te primjena mikroročunala, robota omogućila je razvoj ideje i realizaciju integralnog upravljanja proizvodnjom. Korištenjem elektroničkog računala obavlja se paralelno niz važnih zadataka pomoću računala, kao što je projektiranje (CAD), planiranje procesa (CAPP), upravljanje proizvodnjom (CAM) i mnoge druge pogodnosti. No, primjena novih tehnologija nije se mogla zamisliti bez promjene strategije i organizacije proizvodnje.

Dosadašnja strategija proizvodnje temeljila se na karakteristikama:

- Operacije su podešene prema alatnim strojevima koji mogu obaviti samo jednu vrstu obrade,

a proizvodna filozofija je:

- mali udio rada
- puno medjustrajta i operacija
- najkraće vrijeme za svaku operaciju
- visok stupanj uvodjenja administracije za upravljanje proizvodnjom.



Slika 1. Koncept integriranog upravljanja tvornicom

dok buduća strategija proizvodnje treba da bude slijedećih karakteristika:

- Korištenje fleksibilnih više operacionih strojeva,

a proizvodna filozofija se temelji:

- što više obrada u jednom stezanju
- malo medjustransporta
- najkraća vremena protoka
- visok stupanj iskorištenja alatnih strojeva
- upravljanje proizvodnjom pomoću računala.

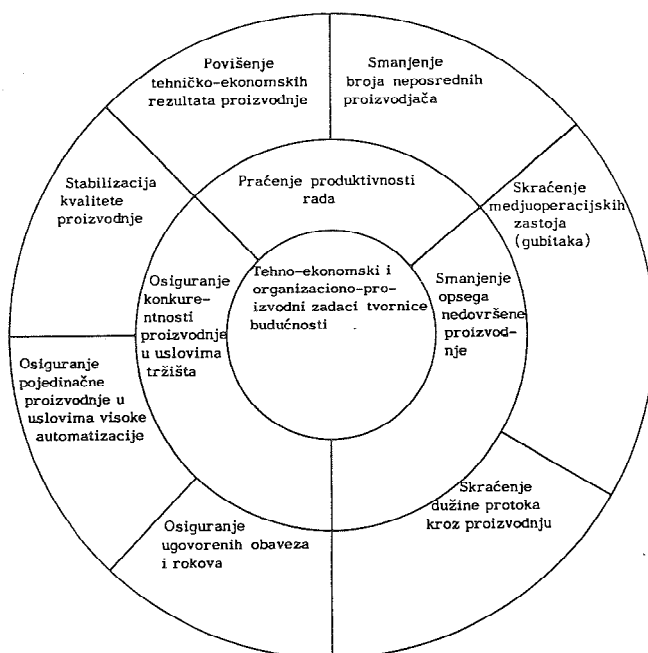
Na slici 1. dato je idejno rješenje koncepta integralnog upravljanja tvornicom. To je pokušaj da se naznači u čemu se sastoji integralno upravljanje putem računala. Sve osnovne djelatnosti u tvornici i dalje postoje, no međusobno povezivanje, razmjena informacija, kao i zajedničke banke podataka omogućavaju visoki stupanj efikasnosti u svakom segmentu djelovanja. Računalo se integralno uvuklo u sve pore djelovanja i omogućava tu efikasnost. U prvom dijelu djelovanja takovog sistema postoji niz aktivnosti, koje su zavisne o skupljanju i obradi podataka sa tržišta iz razvojnih laboratorija i znanstvenih skupova i gdje se uz entuzijazam i motivaciju stvaraju osnove strategije razvoja, donose odluke o razvoju i planira se razvoj proizvoda i proizvodnje. Za uspješno djelovanje na tržištu treba se biti osposobljen za kvalitetnu i rentabilnu proizvodnju i sve prednosti koje donosi koncept integralnog upravljanja treba u tom pravcu usmjeriti. Iz slike 1. vidljivo je da su sve osnovne djelatnosti povezane sa centralnom bankom podataka, kao i sve povratne informacije. Posebno povratne informacije interesantne su sa stanovišta obrade i verifikacije svih datoteka. Integralni sistem upravljanja mora biti sposoban da trenutno da odgovor na stanje poslovanja, ali isto tako, kakav bi utjecaj na tok realizacije proizvodnje imala bilo koja promjena u zacrtanom planu proizvodnje. Te činjenice omogućavaju onima koji treba da donose odluke, da brzo i efikasno dadu odgovore na sve dileme vezane uz strategiju razvoja, pla-

niranje i stanje u proizvodnji. Integralno upravljanje proizvodnjom pomoću računala, zauvijek mijenja odnose u vođenju proizvodnje. Prirodno je da oni koji žele učestvovati u tom procesu moraju spoznati sva tehničko-tehno-  
loška znanja kao što su:

- proizvodni sustavi
- projektiranje proizvoda za FPS
- rukovanje materijalom
- adaptivno upravljanje i praćenje procesa
- senzori i tehnologija
- robotika
- automatska kontrola
- grupna tehnologija
- neuradikalne naprave za stezanje - prihvat
- komunikacioni protokoli
- novi materijali
- CAD/CAM
- ekonomija i rentabilnost
- verifikacija troškova
- rukovodjenje i organizacija

Prelaz na integralno upravljanje proizvodnjom je evolucioni posao, povezan sa informatičkom tehnologijom primjenjenom na sve faze rada u proizvodnji. Uvodjenje integralnog upravljanja proizvodnjom zahtjeva realizaciju korak po korak u strukturnoj transformaciji tvornice, bazirano na interzivnom programu. Ta realizacija može se provesti samo za to obrazovanim kadrom. Transformirani proizvodni sistem postiže novu razinu proizvodnje, koja se ne može voditi konvencionalnim metodama.

Medjutim, za uvođenje integralnog upravljanja proizvodnjom ne smijemo smatrati dovoljnim samo uvođenje u proizvodnju CNC strojeva, obradnih centara, robota, automatskog sustava transporta, automatskih skladišta, CAD/CAM sistema, već je potrebno uvesti upotrebu računala u svim područjima djelatnosti. Tako da je najbliže tom prikazu u stvari blok shema na slici 1.



Slika 2. tehno-ekonomski i organizaciono-proizvodni zadaci tvornice budućnosti

I danas uspješne tvornice integriraju planiranje proizvodnje, upravljanje procesima i strojevima, opremom, projektiranje proizvoda, kontrolu kvalitete, rukovanje materijalom u jedinstveni i efikasan tok informacija u mreži između strojeva i ljudi.

Suvremena proizvodnja mora biti skoncentrirana na kvalitetu i ekonomiju, gdje upravljanje proizvodnjom treba nadomjestiti kontrolu proizvoda, a automatizacija treba zamijeniti monotoniju i greške ručnog rada.

Usavršavanje tehnike rukovodjenja i vezivanje uz proizvodnju po narudžbi, mogu se dramatično smanjiti troškovi i povećati sposobnost prilagodjavanja promjenama zahtjeva na tržištu.

Na slici 2. prikazani su neki od najznačajnijih tehno-ekonomskih i organizaciono-proizvodnih zadataka i željenih rezultata, koji se očekuju od tvornice budućnosti. Najavljeni rezultati zaista su dostignuti u nekoliko realiziranih tvornica budućnosti u Japanu i SAD-u. Iz tog razloga nije nužno ni komentirati sliku 2. jer nam zaista prikazuje za nas najželjenije rezultate .

### 3. ZAKLJUČCI

Uvodjenje integralnog upravljanja proizvodnjom i realizacija tvornice budućnosti zahtjeva niz aktivnosti koje proizlaze iz opisa u točki 1. i 2.

1. Za realizaciju tvornice budućnosti potrebno je formirati interdisciplinarni tim
2. Potrebno je analizirati sve probleme i postaviti pitanja vezana uz realne mogućnosti osnivanja tvornice budućnosti
3. Ustanovljavanje generalnog koncepta integralnog upravljanja razdvajajući organizacionu obradu podataka od obrade podataka za procese proizvodnje
4. Definiranje i primjena kanala za kontinuirani tok informacija
5. Ustanovljavanje veza i sučelja i medjusklopova između pojedinih aktivnosti i odjela
6. Provesti CIM know-how na sklopovskoj opremi, programskoj opremi i orgware-u
7. Očistiti proizvode od netehnoloških dijelova putem tipizacije i standardizacije
8. Detaljno odrediti sve dijelove i elemente tvornice budućnosti
9. Početi sa prototipnim rješenjem i graditi tvornicu budućnosti korak po korak, utvrđujući korisnost i efikasnost svakog predjenog koraka radi što sigurnijeg kretanja ka konačnom cilju

10. Svako prilagodjavanje novim uslovima treba kvalificirati i treningom na određenoj razini osposobiti se za sljedeći korak.

Ovih nekoliko napomena iz dosadašnjih iskustava govore o složenosti realizacije projekta tvornice budućnosti naročito ako postoje podaci koji govore, da se uspješna realizacija tog projekta u idealnim uslovima može realizirati u vremenu ne kraćem od 10 godina.

Tvornica budućnosti projekt je za naša podneblje kuda možemo realizirati tek u 21-om stoljeću. Sva planiranja moraju biti dugoročna i dinamična, jer se nakon svake etape reprogramiranjem projekta jedino može doći uspješno do cilja.

#### Reference:

- 1 W. Eversheim, T. Brachtendorf, L.F. Koch: Changes in the Role of Production Management in the CIM-Era. Annals of the CIRP Vol 35/2/1986. str. 1 - 8.
- 2 J.G. Bollinger, G. Spur, H. Yoshikawa: The Factory of the Future, Annals of the CIRP Vol 37/2/1988. str. 551-555.
- 3 J. Peklenik: Tovarna Bodočnosti, savezni projekt 1988. godine

B. Milčić

#### THE FACTORY OF THE FUTURE

##### S u m m a r y

The factory of the future is the project which integrally solves all problems in production. To achieve such a project we have to study all elements and programs which are the components of the factory of the future. All phases in the realization of this project have to be planned in detail, especially those ones when we have to make the decisions concerning the appropriateness of the project. The factory of the future is the project which in our country can be realized not easier than in 21 - st. century. For this reason it is necessary to prepare a long term planning.

D. Zelenović, D. Šormaz<sup>1</sup>

## POSTUPCI RAZVOJA EFEKTIVNIH PROIZVODNIH SISTEMA

### 1. UVOD

Rezultati istraživanja rada u području industrijske proizvodnje omogućuju izgradnju i uvođenje u proces rada proizvodnih sistema potrebnog stepena fleksibilnosti i visokog stepena oslobađanja direktnog rada - automatizacije. Računarska integracija tehnoloških struktura proizvodnih sistema garantuje visok učinak procesa rada i potreban i dovoljan kvalitet proizvoda. Ona ima za cilj integraciju komponenti u celinu koja treba da obezbedi učinak procesa, kvalitet proizvoda, prilagodavanje promenama u okolini i poremećajima u procesu rada i ukupnu efikasnost radnog sistema.

Osnovni ciljevi koje treba da zadovolji iskazani prilaz u razvoju proizvodnih sistema se svodi na : osiguranje KVALITETA, povećanje UČINKA, minimiziranje PRIPREMNO-ZAVRŠNOG VREMENA, minimiziranje VREMENA TRAJANJA PROIZVODNJE, povećanje KOEFICIJENTA OBRTANJA KAPITALA (smanjenje nedovršene proizvodnje i zaliha), povećanje SPOSOBNOSTI PRILAGODAVANJA - fleksibilnost, izvršenje OPERATIVNIH PLANOVA po strukturi i količinama, korišćenje SINERGETSKIH EFEKATA, optimizacija STRUKTURE RADA, smanjenje vremena u OTKAZU, i minimiziranje ukupnih TROŠKOVA PROIZVODNJE.

Razvoj računarski integrisanih radnih sistema - proizvodnog i poslovnog dela zahteva medutim značajna INVESTICIONA ULAGANJA materijalnog i nematerijalnog karaktera. Analiza investicionih i

---

<sup>1</sup>dr Dragutin Zelenović, red.prof, dop član VANU, mr Dušan Šormaz, asistent, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Industrijske Sisteme, Novi Sad, Veljka Vlahovića 3



operativnih troškova izvedenih realnih proizvodnih sistema sa računarskim integrisanjem proizvodnih i poslovnih sistema pokazuje da je, pri donošenju odluke o izgradnji FPS i RIPS, u najmanju ruku potrebno biti veoma obazriv. Zbog toga se nameće potreba produbijenog izučavanja NAJPOGODNIJE varijante proizvodne - tehnološke, informacione i organizacione strukture u funkciji odnosa  $(p_j - q_j)$  u programu proizvodnje i stabilnosti predmetnog programa u vremenu, stepenu tehnološke složenosti delova i pogodnosti za automatizaciju.

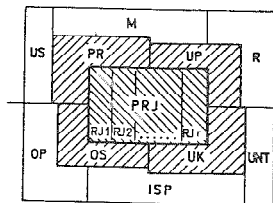
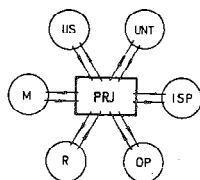
## 2. STRUKTURA EFEKTIVNIH PROIZVODNIH SISTEMA

Istraživački rad i iskustva u razvoju, izgradnji i unapređenju procesa rada realnih proizvodnih sistema u industrijskim sistemima, u prvom redu prekidnog toka, upućuju, u procesu projektovanja i razvoja EFEKTIVNIH PROIZVODNIH SISTEMA na potrebu produbijenog izučavanja parametara relevantnih za utvrđivanje

- 1 najpogodnijeg toka materijala odnosno optimalne proizvodne strukture,
- 2 potrebnog i dovoljnog stepena INTEGRACIJE funkcija u sistemu, organizacione strukture i mreže informacionih tokova,
- 3 postupak UPRAVLJANJA tokovima u sistemu i držanja radnih karakteristika procesa rada u granicama dozvoljenog odstupanja,
- 4 optimalnog stepena automatizacije postupaka rada u sistemu,
- 5 najpogodnije strukture rada - učesnika u procesima rada,

što sve predstavlja uslov i objektivnu osnovu za izbor određene varijante strukture potrebnog stepena automatizacije i uslov za ostvarenje potrebnog i dovoljnog stepena efektivnosti. Iz ovih razloga je u našim razmatranjima više prisutan pojam EFEKTIVNI PROIZVODNI SISTEMI određenog potrebnog i dovoljnog stepena računarske integracije u funkciji stabilnosti programa proizvodnje, stepena tehnološke složenosti i pogodnosti oblika delova za automatizaciju. U osnovi razvoja svake IIS - izabrane varijante leži logika računarski integrisanih poslovnih sistema (RIPS) kao sistema najvišeg, do sada ostvarenog, reda koji

obezbeđuje ostvarenje iskazanih ciljeva. Imajući u vidu strukturu osnovnih funkcija radnih sistema (sl. 1) na FTN-IIS je u izgradnji RIPS [1] sa osnovnom strukturom:



US	- upravljanje sistemom
M	- marketing
R	- razvoj
UNT	- upravljanje novčanim tokovima
ISP	- integralna sistemska podrška
OP	- opšti poslovi
PR	- priprema rada
UP	- upravljanje proizvodnjom
UK	- upravljanje kvalitetom
OS	- održavanje radnog sistema
PRJ	- proizvodne radne jedinice

Slika 1.

1. RADNI SISTEM - koji čine osnovna sredstva - mašine, roboti montažna radna mesta, sistemi rukovanja materijalom i uređaji za merenje i kontrolu
2. KOMUNIKACIONI SISTEM - koji pomoću mreže i protokola povezuje računarske jedinice, radna mesta - NC mašine, robote, elemenata sistema za rukovanje materijalom i upravljačku jedinicu
3. RAČUNARSKI SISTEM - predstavlja decentralizovani skup više računarskih jedinica postavljenih u funkciji procesa, u više ravni - CAD, CAPP, CAM, CAI, OA - jedinice i funkcionalno povezanih u sistemu u cilju izvršenja projektovanih postupaka
4. SISTEM BAZE PODATAKA - koja objedinjava : bazu tehničkih podataka i bazu poslovnih podataka
5. INFORMACIONI SISTEM - objedinjava tokove informacija radnog sistema i to : Tehnički deo informacionog sistema, Proizvodno-upravljački deo informacionog sistema, Pripremni deo informacionog sistema - OA sistemi.
6. UPRAVLJAČKI SISTEMI RADNE ORGANIZACIJE - predstavlja sistem koji, na osnovu podataka marketinga i saznanja o potencijalu radnog sistema : vrši izbor poslovne strategije, utvrđuje funkciju cilja i granice dozvoljenih odstupanja, donosi odluke o relevantnim zahvatima u sistemu, kontrolira izlazne veličine sistema, analizira stanja U OTKAZU sistema, donosi odluke o potrebnim zahvatima u području proizvodnih struktura.

### 3. POSTUPCI RAZVOJA EFEKTIVNIH PROIZVODNIH SISTEMA

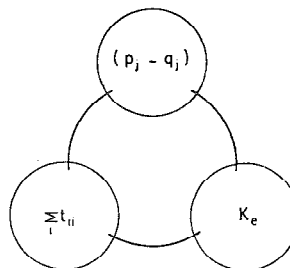
Za razvoj prilaza u iskazanom smislu - EFEKTIVNOG PROIZVODNOG SISTEMA potrebno je obraditi objektivne podloge relevantne za izgradnju sistema potrebnog i dovoljnog stepena efektivnosti i to:

#### .1 Izbor optimalne proizvodne strukture

koji je zasnovan na nejednačini [2]

$$\begin{array}{l} \text{ukupno opterećenje } i\text{-tog} > \text{efektivni kapacitet } i\text{-tog} \\ \text{preseka proizvodnog sistema} < \text{preseka proizvodnog sistema} \end{array}$$

koja u sebi sadrži osnovne suštinske elemente odnosa SISTEM - OKOLINA (sl. 2) određenog strukturom -  $p_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ) i količinama -  $q_j$  predmetnog programa proizvodnje, tehnološkom složenošću proizvoda  $\sum t_{ij}$  i potencijalom - efektivnim kapacitetom  $K_e$  posmatranog radnog sistema pri čemu količine u programu i tehnološka složenost proizvoda određuju opterećenje preseka, a efektivni kapacitet radni potencijal preseka sistema.



Slika 2.

Prilaz je strukturiran iz pet koraka koji obezbeđuju ostvarenje EFEKTIVNOG RADNOG SISTEMA sa BUDUĆNOŠĆU kako sledi :

Korak 1: Uređenje tokova materijala u sistemu na principima GRUPNE TEHNOLOGIJE,

Korak 2: Projektovanje struktura sistema na PREDMETNOM principu sa osnovom u radnoj jedinici autonomnog karaktera,

Korak 3: Modeliranje organizacione strukture na principu integracije funkcija, objektivizacija koeficijenata  $t_{ij}$ , uspostavljanje informacionih tokova i razvoj postupaka upravljanja,

Korak 4: Automatizacija postupaka rada delova sistema u funkciji zadovoljenja odnosa  $p_j - q_j$  i principa fleksibilnosti i razvoja programa CAD, CAPP, CAM, CAI, CAQ, CAMa,

Korak 5: Računarska integracija proizvodnog (CIM) i poslovnog (OA) dela sistema i jedinstven integrisani CIB sistem.

## *.2 Integracija funkcija u sistemu*

Uslov za razvoj računarski integrisanih poslovnih sistema - RIPS-a je integracija funkcija u sistemu (sl. 1) i primena MATRIČNOG - funkcionalno-hijerarhijskog prilaza u postavljanju organizacionih struktura radnih sistema u kome

### **.FUNKCIONALNO ORIJENTISANA**

#### **DEJSTVA**

obezbeđuju visok nivo tehničko-tehnoških standarda "a<sub>ij</sub>", savremene metode u radu i osiguranje od predviđanja značajnih potreba, a

### **PROGRAMSKI ORIJENTISANA**

#### **DEJSTVA**

obezbeđuju, na osnovama funkcionalno orijentisanih dejstava, proces promene stanja - proizvodnju, potreban učinak i projektovani kvalitet.

U prilazu o integraciji funkcija obuhvataju se : integracija unutar funkcija, integracija između funkcija i utvrđivanje organizacione strukture i raspodela odgovornosti pri čemu se, polazeći od činjenice da su funkcije nastale prirodnom procesa i univerzalne, a zadaci unutar funkcija specifični, uslovljeni proizvodnim programima i proizvodnim tehnologijama, za svaki radni sistem traži poseban prilaz u razvoju proizvodnih tokova, organizacionih postupaka i informaciono-upravljačkog sistema u smislu da, u opštem slučaju, funkcije nisu osnova za izgradnju struktura proizvodnih sistema već skup upravljačkih dejstava čiji intenzitet varira u funkciji vrste proizvodnog sistema.

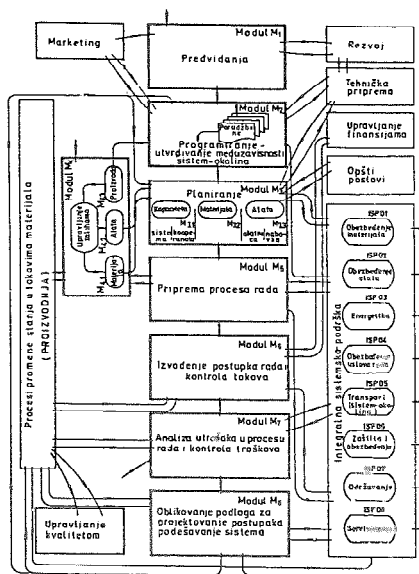
## *.3 Izgradnja informacionog sistema i izbor postupaka upravljanja*

Na osnovu arterijskih i konsultativnih veza u organizacionoj strukturi postavlja se informaciono-upravljački sistem radne organizacije. Prilaz u razvoju postupaka upravljanja se zasniva na logici razvoja (sl. 3) [3] fleksibilnih sistema u području projektovanja tokova materijala i svodi na planiranje, izvođenje i kontrolu toka za određeni vremenski period koji u najvećem broju slučajeva iznosi 365/52 vremenskih jedinica - perioda.

#### 4 Utvrđivanje optimalnog stepena automatizacije struktura sistema

Proizvodna radna jedinica - PRJ maksimalnog mogućeg stepena autonomnosti predstavlja RUČNO UPRAVLJANI FLEKSIBILNI PROIZVODNI SISTEM podložan postupku automatizacije zavisnom u funkciji stabilnosti programa proizvodnje i pogodnosti delova za automatizaciju.

#### 5 Izbor pogodne strukture rada u uslovima efektivnih proizvodnih sistema



Slika 3.

Promene strukture rada u razvoju efektivnih proizvodnih sistema su od posebnog značaja obzirom na probleme zamene i prekvalifikacije. Varijante sistema različitog stepena automatizacije zahtevaju u značajnoj meri različit obrazovni nivo i osetno veće učešće indirektnog rada u ukupnoj količini rada u sistemu. Iskustva pokazuju da je problem promene strukture rada značajan - i u razvijenim zemljama i u zemljama u razvoju. U svakom slučaju značajan efekat se postiže stalnim obrazovanjem učesnika u procesima rada.

#### 1. MODELIRANJE I SIMULACIJA STRUKTURE SISTEMA

Složenost postupaka projektovanja i upravljanja efektivnim proizvodnim sistemima kao i potreba integracije svih sastavnih delova radi ostvarenja neophodne efektivnosti, već u fazi projektovanja ukazuje na potrebu korišćenja analitičko-sintetičkih metoda u tim zadacima i modeliranje dinamičkih struktura takvih sistema. Stanja proizvodnih sistema određena su skupom podataka u

određenim vremenskim trenucima i preseccima sistema. Modeliranje ovih sistema sastoji se u preciznom i jednoznačnom definisanju elemenata ulaznih i izlaznih veličina (funkcija) i stanja. Komponente modela proizvodnih sistema mogu se svrstati u dva uzajamno povezana dela:

- statička struktura sistema koja se sastoji od skupa ulaza  $X$ , stanja  $S$ , izlaza  $Y$  i izlaznih funkcija  $\lambda$
- dinamička struktura, koja se sastoji od skupa ulaznih trajektorija, funkcije prelaza stanja  $\delta$  i vremenske funkcije  $T$ .

Na osnovu izrađenog modela sistema simulacija ustvari predstavlja interakciju između modela i računara. Na osnovu gore definisanog modela simulacioni program na iterativan način (korak po korak) u pet faza [4] izračunava sve attribute modela.

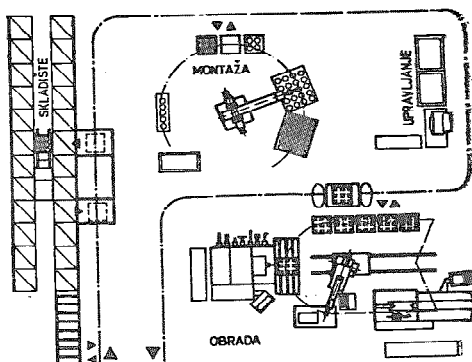
Modeliranje procesa rada projektovane strukture izvodi se kao poslednja faza u projektovanju sistema. Pri tome se vrši predviđanje ponašanja sistema na osnovu date organizacione strukture i postupaka upravljanja i simulacija ponašanja sistema za različite varijante tih postupaka. Veličine koje karakterišu ponašanje sistema i određuju njegovu efektivnost su :

- učinak
- stepen iskorišćenja tehnoloških sistema
- vremena trajanja proizvodnog ciklusa
- veličina nedovršene proizvodnje
- "grla" u toku materijala i veličina redova čekanja
- osetljivost na promene parametara strukture
- stopa dobiti na uložena sredstva u investicije, itd.

Svi ovi pokazatelji su međusobno povezani kao što zavise od kvaliteta projektovanja sistema i korišćenih postupaka upravljanja i kvaliteta informaciono-upravljačkog sistema. Međusobne veze između elemenata proizvodnih sistema (predmeti rada, mašine - tehnološki sistemi, sistem rukovanja materijalom, sistem za obradu podataka,...) uzrokuju da se gore pomenuti ciljevi ne mogu predvideti bez razmatranja dinamičkog ponašanja projektovanog

sistema.

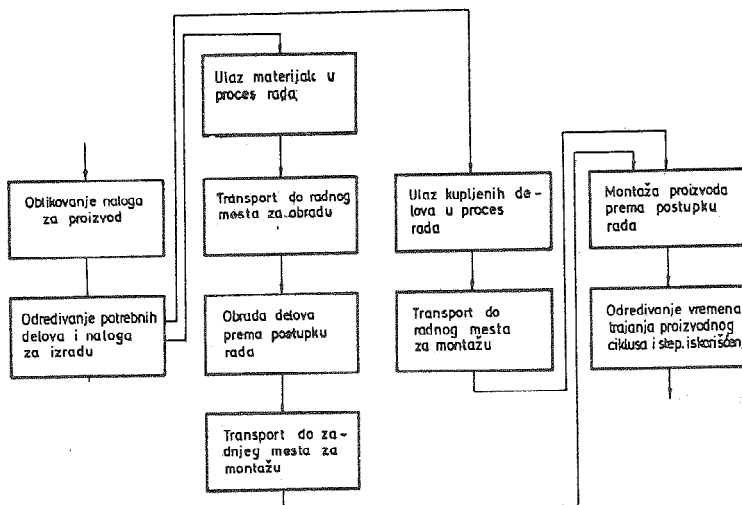
Simulacioni model za eksperimentalni RIPS (sl. 4) uključuje u sebe (sl. 5) postupke planiranja, obrade, montaže i rukovanja materijalom na radnom mestu i između radnih mesta.



Slika 4.

## 5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Grupni prilaz u oblikovanju tokova materijala je osnova razvoja proizvodnih sistema koja omogućava ostvarenje potrebnog kompromisa između zahtevanog stepena fleksibilnosti koji omogućava uspešno prilagođavanje promenama u okolini i dovoljnog nivoa



Slika 5.

produktivnosti i kvaliteta koji zadovoljava postavljenu funkciju cilja radnog sistema. Pri tome je nivo automatizacije uslovljen odnosom struktura - količine u programu proizvodnje i pogodnošću delova za automatizaciju. U uslovima visokih investicionih troškova uslovljenih uvođenjem novih tehnologija prilaz zasnovan na racionalizaciji postupaka, objektivizaciji veličina i modeliranju dinamike ponašanja sistema već u fazi njegovog projektovanja ima suštinski značaj i obezbeđuje efektivnost procesa rada radnih sistema.

#### Reference

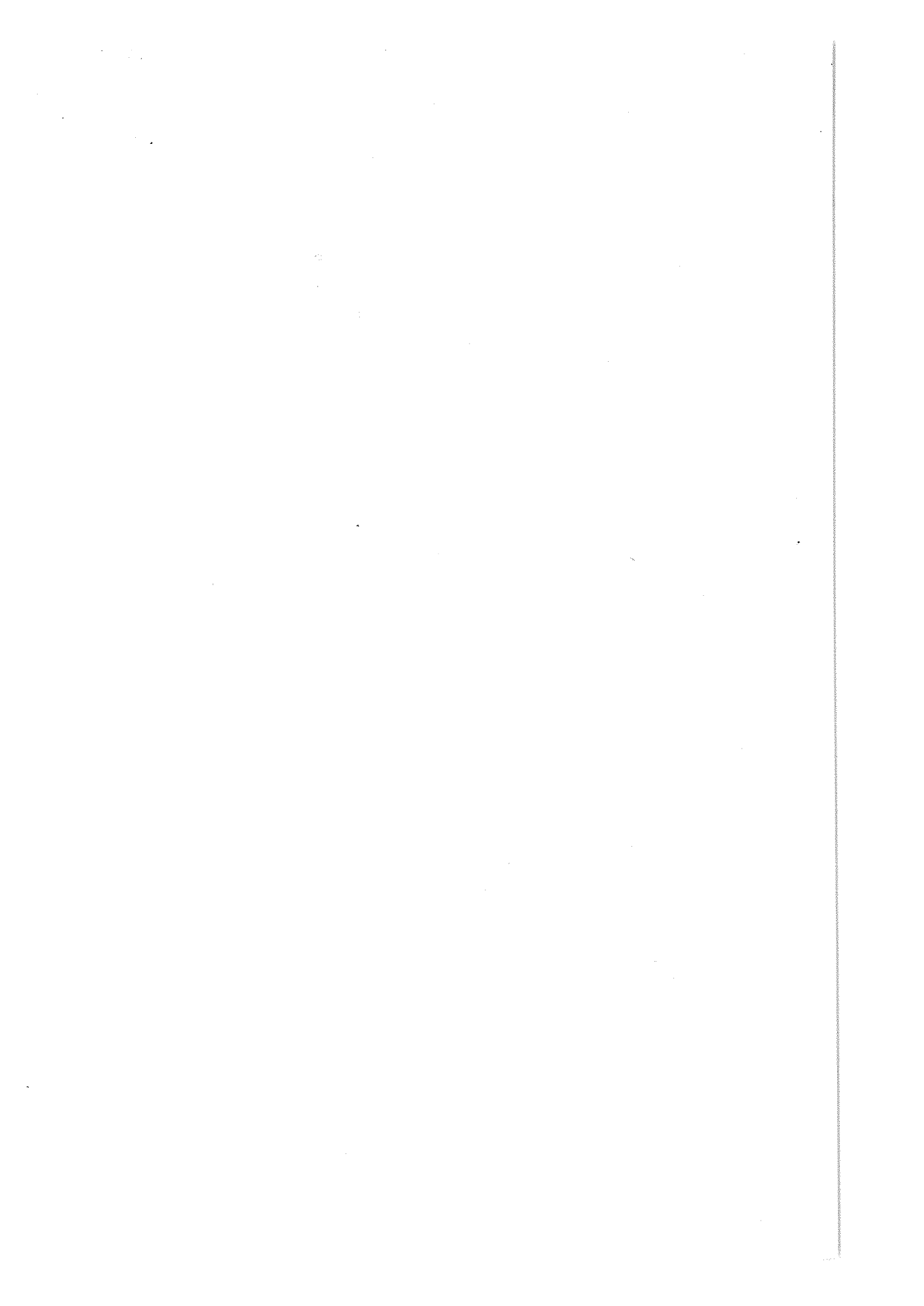
1. D. Zelenović, O nekim pitanjima izgradnje efektivnih proizvodnih sistema, IIS seminar EFEKTIVNI PROIZVODNI SISTEMI Dubrovnik, 5-8. 9. 1988.
2. D. Zelenović, Projektovanje proizvodnih sistema, Naučna knjiga, Beograd, 1987.
3. D. Zelenović, Upravljanje proizvodnim sistemima, Naučna knjiga, Beograd, 1984.
4. D. Šormaz, Simulacija i ekspertni sistemi - alati za projektovanje i upravljanje efektivnih proizvodnih sistema, IIS seminar EFEKTIVNI PROIZVODNI SISTEMI Dubrovnik, 5-8. 9. 1988.

D. Zelenović, D. Šormaz

#### THE METHODS FOR DEVELOPMENT OF EFFECTIVE PRODUCTION SYSTEMS

*The structure and components of computer integrated effective production systems are shown in the paper. The role of integral consideration of material and information flows to increase of group technology based manufacturing systems. On that base the methods and phases of development of effective production systems are defined. Use of simulation is emphasized showing experimental computer integrated manufacturing system and mentioned phases are identified.*





TUGOMIR ŠURINA

NOVE TEHNOLOGIJE:  
PUT JUGOSLAVIJE  
U POSTINDUSTRIJSKO DRUŠTVO

U članku se raspravlja o tehničkim aspektima koje je prouzrokovao prodor mikroelektronike pri čemu je najvažniji čimbenik kompjutorizacija proizvodnje. Za nas je zanimljivo kako će se ovaj revolucionarni preobražaj odraziti na našu privredu i društvo. Postavlja se pitanje da li u našim krutim društvenim odnosima mogu doći do izražaja nove tehnologije koje omogućuju put prema postindustrijskom društvu.

The article discusses the technical aspects caused by the breakthrough of microelectronics, the most important factor being the computerization of production. What we consider interesting is the impact this revolutionary transformation will have upon our economy and society. The question is: Can new technologies providing the course towards postindustrial society emerge in such rigid social relations as ours are.

## 1. Uvod

Za vrijeme izložbe alatnih strojeva BIAM 88, u ljeto ove godine na Zagrebačkom velesajmu, talijanski ambasador g.M.Castaldo je u jednoj nadahutoj diskusiji spomenuo kako je - prateći svjetske trendove razvoja u talijanskoj industriji počelo još šezdesetih godina prestrukturiranje industrije čije su posljedice očite. FIAT, Olivetti, Benetton postale su moderne multinacionalne kompanije; u industrijskim zonama talijanskih gradova i duž autostrada niču manje automatizirane tvornice, na pr. u jednom malom pogonu osam radnika proizvodi više stolnih noževa nego jedna naša povelika tvornica (koja doduše ima i mnogo širi asortiman); prilikom vožnje po autostradama upada u oči da je na svakom kamionu iza kabine ugrađen robotizirani uređaj što će reći da i cestovni transport ostaje bez fizičkog rada.

Sve to ukazuje da postindustrijsko društvo s tvornicama budućnosti nije više stvar dalekih razvijenih zemalja kao što su SAD, Japan ili Švedska; ono kuca i na naša vrata, 200 km od Zagreba.

Ovi procesi koji revolucioniraju proizvodne snage a preko toga i proizvodne odnose, prelamaju se i u nas. Uz primjere naših najpropulzivnijih tvornica možemo na televiziji vidjeti i otvaranje novih pogona u nerazvijenim krajevima; najčešće su to proizvodne hale s mnogo radnika i s minimalnim sredstvima rada. To čak više podsjeća na manufakturu nego na industrijsko doba.

U daljem tekstu želio bih raspraviti dvije stvari. Prvo, da razjasnim što podrazumijevam pod novim tehnologijama, te koji su tehnički, sociološki i ekonomski problemi kod uvođenja novih tehnologija. Drugo, kako ta interakcija između razvoja proizvodnih snaga i odnosa djeluje u našim uvjetima te u kojoj mjeri može naš kruti društveni sistem stimulirati uvođenje i uspjeh novih tehnologija koje otvaraju put u postindustrijsko društvo.

\* Prof. dr Tugomir Šurina, Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Zagreb, Đ.Salaja 5

## 2. Automatizacija, mikroelektronika, nove tehnologije

Automatizacija proizvodnje već je dugo prisutna u tehničkom razvoju. Prije i nakon rata postojali su tzv. "informacijski strojevi" koji zamjenjuju umni rad čovjeka, odnosno upravljanje proizvodnim procesima. To su bili automati specijalne namjene (i riješavali su ograničenu problematiku automatizacije, (relejna zaštita, pneumatski regulatori, centrifugalni regulatori). Tek je prodor mikroelektronike, odnosno masovna primjena mikroprocesora, promijenila stubokom ritam razvoja. Mikroprocesori su automati opće namjene, jer se uz određeni odabir programa može mijenjati njihova funkcionalnost; pomoću njih se mogu voditi ne samo fizikalni procesi (numeričko upravljanje alatnih strojeva, vođenje rakete, itd.) već i procesi apstraktnog karaktera (računanja, sortiranje itd.). Zbog svojih odlika (fleksibilnost, pouzdanost, kompaktnost, brzina rada) istiskuju sve ostale vrste automata. Zato se sadašnjem stupnju tehničkog razvoja mikroelektronika poistovjećuje s automatizacijom.

Kada se spominju nove tehnologije, onda se tu može podrazumijevati široka lepeza značenja tog pojma [3]. To mogu biti novi postupci kao što su razni elektrotermički postupci (obrada laserom, obrada plazmom, obrada elektronskim snopom, elektroerozija). U nove tehnologije se mogu uključiti i novi materijali (kompoziti, keramika, legure). I alternativni izvori energije (sunčeva, vjetar, geotermalna) se mogu ovdje svrstati. Mnogi podrazumijevaju informatičke tehnologije, odnosno kompjutersku tehniku u užem smislu riječi. Ako pak nove tehnologije promatramo sa stajališta materijalne proizvodnje, onda one znače prožimanje mikroelektronike, odnosno informatičkih tehnologija, s jedne strane, te strojogradnje, odnosno strojarских tehnologija, s druge. Upravo će kompjuterizacija proizvodnje (sekundarni sektor) omogućiti da se većina radno aktivnog stanovništva oslobodi fizičkog rada, te da se stvore materijalni uvjeti za proširenje uslužnih djelatnosti (tercijarni sektor) [3].

Najveći broj uposlenih u industriji je danas u tzv. metaloprerađivačkoj industriji (komadna proizvodnja) a stupanj automatizacije je nizak, ispod 10%. Ovdje preovlađuju male i srednje serije, a dosada su slabo riješeni problem transporta, kontrole kvalitete, dok grupna tehnologija, standardizacija, tipizacija i modulna gradnja treba tek da stvore uvjete za šire uvođenje automatizacije. Iznimka je velika automobilska industrija ("Detroitska automatizacija") gdje su velike serije skupih proizvoda opravdane goleme investicije u specijalne automatizirane strojeve i pokretne trake, uključujući i masovnu primjenu robota.

Kompjuterizirana proizvodnja u metaloprerađivačkoj industriji gdje se uvode tehnike i tehnologije koje se od reda temelje na primjeni kompjutera, može se uvjetno nazvati i programirana automatizacija (PA). Bitna značajka te proizvodnje je i potreba za fleksibilnošću, jer suvremeno tržište zahtijeva brze odzive proizvođača i raznolikost proizvoda, pa se i proizvodnja mora sve češće mijenjati. Upravo je to omogućeno povezivanjem pojedinačnih procesa i strojeva pomoću automatiziranog transporta (robotizacija) i upravljanih kompjuterom, čiji program se relativno lako mijenja. Odatle i naziv fleksibilna automatizacija (FA). Za nju se upotrebljava i izraz meka automatizacija (soft automation). Izraz tvrda automatizacija (hard automation) bio je tipičan za poratne godine, gdje su čvrsto vezane funkcionalne jedinice odgovarale konkretnom zadatku.

Zaključne tehnologije programirane automatizacije izmišljene su kratice CAD, CAM, CAE, CAP, CMA, itd., sve označuju da su to kompjutorski potpomognute (Computer Aided...) tehnologije.

Možemo ih grubo svrstati kako slijedi

- Konstruiranje pomoću računala (CAD)
- Proizvodnja pomoću računala (CAM) što uključuje NC alatne strojeve, industrijske robote i fleksibilne obradne sisteme.
- Računalom integrirana proizvodnja (CIM)
- Umjetna inteligencija, koja obuhvaća i ekspertne sisteme.

### 3. Uvođenje novih tehnologija

U nas je industrijska revolucija praktički počela nakon Drugog svjetskog rata kad je donijeta dalekosežna odluka o industrijalizaciji zemlje. Usporedo s kupovanjem kompletnih postrojenja uvedena je i automatika.

Jasno je da uvođenje automatizacije izaziva znatne teškoće i otpore. Tome pridonosi niz čimbenika. Veoma skupi automatizirani strojevi nabavljaju se, a da nije dovoljno proučena rentabilnost: stroj je nedovoljno iskorišten, a poznato je da su to u pravilu visokoproduktivni strojevi koji moraju maksimalno raditi. Takav stroj zahtijeva visoki stupanj organizacije rada tvornice, obučenosti i discipline. Događa se da se nabave skupi NC alatni strojevi, pa da se tek onda razmišlja kako da se koriste: ili se visokoautomatizirana preša nakon stanovitog vremena "ogoli", ili se skine upravljački automat koji jedini može osigurati optimalan rad kemijskog reaktora. Da ne navodimo dalje takve primjere iz prakse, spomenimo i potencijalno uvijek prisutan otpor radnika prema takvim inovacijama koje ugrožavaju radno mjesto.

#### 3.1. Razlozi uvođenja automatizacije

Uvođenje automatizacije implicira i pitanje o svrsishodnosti odluke, tj. da li i kada tvornice koje rade ekstenzivno i sa slabo iskorištenim kapacitetima, mogu sebi priuštiti, u pravilu, vrlo velika ulaganja.

Evo nekih općevažećih razloga za uvođenje programirane automatizacije:

- ekonomski razlozi (povećanje produktivnosti, povećanje proizvodnje, ušteda energije),
- zamjena rada opasnog za čovjeka (npr. nuklearni reaktor),
- zamjena monotonog rada (npr. montažna traka),
- povećanje kvalitete proizvoda (npr. operacija zavarivanja),
- radne operacije koje su izvan fizioloških i imnih mogućnosti čovjeka.

Ekonomski razlozi su svakako primarni, jer je u tome i smisao udjela automatizacije u razvoju proizvodnih snaga. Ipak, s obzirom na ograničeno tržište, ekstenzivni način proizvodnje i male serije, ovaj kriterij još dugo neće u našim uvjetima biti u prvom planu. Naime automatizacija podrazumijeva kapitalom intenzivnu proizvodnju s velikim uložnim sredstvima. Ona se uvodi tek kad troškovi po jedinici rezultata rada u tradicionalnoj radom intenzivnoj proizvodnji pređu određenu granicu. U našim uvjetima s nadnicama koje su niske i sporo rastu teško je naći ekonomsko opravdanje za uvođenje automatizacije.

Spomenuti razlozi govore u prilog tezi A. Bajta [5] da je uvođenje novih tehnologija u realnim uvjetima našeg privrednog sistema sporno. Naime, koji je odgovor na tvrdnju: veoma skupi uređaji zahtijevaju maksimalnu iskorištenost sredstava proizvodnje? Da li smo

to u stanju postići- Osim toga, u uvjetima potpuno zamagljenih vrednovanja u nas, što je rentabilno? Da li je rentabilna tvornica koja kupuje na Zapadu a izvozi na Istok ili ako se tvornica nađe u škarama između propisanih cijena sirovina i gotovih proizvoda?

Drugi se kriteriji, međutim, ne mogu zaobići. U vezi s posljednjim kriterijem valja spomenuti ograničene fiziološke mogućnosti čovjeka kao što su brzina reakcije, osjeti, ili umne mogućnosti kad postoji potreba za kompleksnim upravljanjem.

### 3.2. Preduvjeti uvođenja automatizacije

Da bi se postigao željeni efekt, moraju biti ispunjeni i određeni uvjeti prije uvođenja programirane automatizacije [3] i to u područjima:

- organizacije proizvodnje i poduzeća,
- oblikovanja proizvoda (konstrukcija),
- oblikovanja proizvodnje (tehnologija),
- razine znanja radnika,
- marketinga, što znači postojanje tržišta
- odgovornosti, radne discipline i društvene klime.

Organizacijski sredena proizvodnja i poduzeće omogućuje maksimalno iskorištenje kapaciteta, odnosno rentabilnost veoma skupe investicije. To se tiče i organiziranosti cijele privrede, gdje državna regulativa mora dati unaprijed poznate uvjete privredivanja, nabave i prodaje, uvoza i izvoza, kreditne politike, itd.

U demeni konstrukcije i tehnologije treba razraditi tipizaciju i standardizaciju proizvoda, grupu tehnologiju kao familiju proizvoda zasnovanih na modularnoj gradnji. Treba postići "automatičnost" i konstrukcije i tehnologije, za što Nijemci imaju pogodan izraz "automatisierungsfreundlich" (tlačni ljev, obrada laserom, elektroerozija itd.).

Uvođenje novih tehnologija zahtijeva i nova znanja, koja se svode na lepezu iz informacijskih znanosti, kompjuterske tehnike i automatizacije. U redovnom obrazovanju moraju se uključiti, odnosno proširiti novi kolegiji iz područja informatičkih tehnologija. Treba naglasiti i permanentno obrazovanje: zbog brzih i neprekidnih tehničkih novina, nužno je postići mogućnost kontinuirane izobrazbe kadrova iz proizvodnje.

Što se tržišta tiče, mora postojati razvijeno unutarnje tržište, a i pristup inozemnom tržištu. I ovo spada u domenu političkih odluka: da li i kako ćemo se uključiti u integracijska kretanja, koja će nam osigurati optimalan razvoj.

Mislím da su zahtjevi za odgovornošću, radnom disciplinom i pogonskom klimom očiti. U vezi s odgovornošću i radnom disciplinom spomenuo bih da to vrijedi općenito za sva veoma skupa postrojenja. A automatizacija je u pravilu veoma skupa.

### 3.3. Načini i tempo uvođenja novih tehnologija

Smatram da se za našu industriju više ne postavlja pitanje treba li uvoditi nove tehnologije. Poduzeća orijentirana na domaće tržište i zaštićena carinama mogu dođuše i dalje ne razmišljati o tome. Međutim, za izvozno orijentirana poduzeća, koja su u konkurentskoj borbi na svjetskom tržištu, to je apsolutni "sine qua non".

Tako je, npr., tvornica "Uljanik" orijentirana na svjetsko tržište: projekt i konstrukcija broda radio se dugo, i do dvije

godine; Japanci su primjenom CAD-a skratili to vrijeme na 2 mjeseca, i oni su morali prihvatiti taj izazov. S druge strane, proizvođači koji prodaju samo na domaćem, carinski veoma zaštićenom tržištu, imaju glavnu brigu oko postizanja cijena i sprečavanja uvoza preko kompenzacijskih poslova. Tehnologija im nije najpreča briga.

Za našu industriju ostaje pitanje kako uvoditi nove tehnologije. Nije ispravno oslanjati se isključivo na tuđu pamet (licence, itd.) jer to imobilizira vlastite kreativne snage. Isto tako ne valja i isključivo oslanjanje na vlastita rješenja, što može dovoditi do negativnih efekata.

Govoreći općenito, naša poduzeća, kupujući licence, u pravilu dobivaju zastarjelu tehnologiju i proizvode; strani partneri daju licencu za proizvode koji su na silaznoj strani krivulje prodaje. Nasuprot tome, navodim primjer iz susjedne Austrije: u dolini Mure odumiru željezare i vlada nastoji privući elektroničke tvrtke. One dolaze sa svojim kapitalom i najmodernijom tehnologijom, jer o tome ovisi i mogućnost plasmana i zarade. Dakle, tu se radi o transferu kapitala.

Što se tiče tempa realizacije, u nas postoji sklonost ka velikim i skupim rješenjima. Svjetsko iskustvo govori da se u većini slučajeva najbolji efekti postižu postupnošću, odnosno osvajanjem novih tehnologija "korak po korak". Time se postiže solidna priprema i usklađivanje svih potrebnih akcija, a ne može doći do katastrofalnih promašaja.

Danas su stvoreni tehnički uvjeti da se realiziraju i najambiciozniji projekti, pa i "tvornice budućnosti". U razvijenim zemljama se ipak ide oprezno s ograničavajućim faktorima na tržištu roba, kvalificirane radne snage i kapitala. A ova tri faktora su još jače ograničavajući faktori u jugoslavenskim prilikama.

Zanimljivo je i pozitivno iskustvo tvornice TOMOS Koper. Zbog pada kvalitete a time i konkurentne sposobnosti na stranom tržištu, uveli su 1987.g. u proizvodnju umjesto automata za lučno zavarivanje niz robota. U projekt se išlo postepeno, pa je u prvoj fazi investicije naglasak bio na upoznavanju nove tehnologije, izobrazbi potrebnih kadrova i testiranju isporučioća opreme. U eksploataciji i održavanju oslonili su se potpuno na vlastite snage, timski rad svih stručnjaka za održavanje, programiranje i proizvodnju, plansko održavanje i dovoljnu zalihu rezervnih dijelova. Rezultati nisu izostali: lučno zavarivanje okvira za motorkotače smanjilo se vremenski kod prijelaza od ručnog na robota za 80%, a kod prijelaza od automata za zavarivanje na robota za 66%. Da se ne spominje humanizacija rada

#### 4. Neki ekonomski i socijalni aspekti

Pedesetih godina bila je u nas aktualna teza da se problem uvođenja automatizacije, odnosno viška radne snage može riješiti samo u socijalizmu. Naime, u kapitalizmu, gdje su sredstva proizvodnje u vlasništvu malog broja ljudi, uvođenjem automatizacije većina ostaje bez posla i osiromašuje. U nas se naglašavaju protestni pohodi radnika željezare u Ruhru ili Lorraini ili grafičkih radnika u Londonu koji se bore za svoja radna mjesta. Pri tome ne vidimo kako se ti problemi neprestano rješavaju. Npr. SAD imaju unatoč silnoj modernizaciji industrije danas oko 5% nezaposlenih, manje nego 1920.godine.

Problem se mora drukčije postaviti. U bogatoj SR Njemačkoj mogu tri godine plaćati radnika, prekvalificirati ga, slati ga u prijevremenu penziju, skratiti radni tjedan. U siromašnoj zemlji u razvoju kao što je naša, za takve socijalne poteze jednostavno nema dovoljno sredstava.

U SAD je iskustvo pokazalo da se uvođenjem novih tehnologija broj zaposlenih ustvari povećava. Gube se radna mjesta na Sjeveru i Sjeveroistoku, gdje postoji jaka metaloprerađivačka i automobilska industrija; zato se na Jugu, u tzv. "Sunbeltu" stvaraju nova radna mjesta za mikroelektroniku, robotiku, svemirsku tehnologiju, itd.

U nas neće uvađanjem automatizacije doći do većih problema već i zbog slabog tempa automatizacije. Naš problem je kuda s tehnološkim viškom koji je stvoren ekstenzivnom proizvodnjom. I kako će povećanje produktivnosti omogućiti otvaranje novih radnih mjesta u tercijarnim djelatnostima?

Da bismo vidjeli kuda smjera industrijski razvoj, pogledajmo opet Italiju. Tamo su šezdesetih godina išli u prestrukturiranje industrije:

- masovna nastajanja malih i srednjih poduzeća, koja se lako snalaze na tržištu, a u uvjetima tržišne utakmice mnoga poduzeća propadaju bez većih potresa (IRA, 137 zaposlenih);

- veća poduzeća prelaze granice, postaju "multinacionalna" ali ne u pejorativnom smislu, već sa svim ekonomskim prednostima na koja je ukazao Galbraith [8] i J.J. Servan-Schreiber [9], prelazeći granice te carinske i poreske barijere koje vrlo spremno postavlja državna regulativa (Olivetti, Benetton).

U tom prestrukturiranju je naglašena uloga poduzetništva (menadžera). Sve je to omogućilo slobodan protok radne snage, kapitala, a dakako i robe. Naime, Italija je riješila taj problem uključivanjem u zajedničko tržište.

A kako je u nas? Smatram da su ti trendovi u Sloveniji pozitivni (Gorenje na stranom tržištu, Iskra sa svojim kooperantima). Međutim, u cijeloj zemlji još uvijek se koči mala privreda, političke strukture još uvijek okrupnjavaju poduzeća, a tehnomenadžeri se kao konkurenti vlasti i dalje smatraju političkim štetočinama. A što se tiče likvidacije nerentabilnih poduzeća, još uvijek se zanosimo lažnom socijalom: poduzeće godinama loše radi, gomilaju se gubici, radnici su na minimumu dohotka. To se smatra prihvatljivijim od čiste situacije, kad radnici taj isti minimum dobiju na burzi rada.

Iz gornjih zaključaka proizlazi da uspješan razvoj novih tehnologija kao preduvjeta za put prema informatičkom društvu duboko zadire u politička opredjeljena. Da li će naše društvo imati snage da prevlada kruta ideološka načela, kao ona o industrijskom radniku-proleteru kao nosiocu proizvodnje? Pa da se djelima - a ne riječima - krene u tržišnu privredu s konkurentskom borbom, da se uklopi u međunarodnu podjelu rada, da se prekine s neradom, nedisciplinom i neodgovornošću.

## 5. Zaključak

Prođor mikroelektronike posljednjih decenija prouzrokovao je revolucionarni preobražaj proizvodnih snaga, prije svega u materijalnoj proizvodnji, odnosno u prožimanju informatičkih tehnologija i proizvodnje.

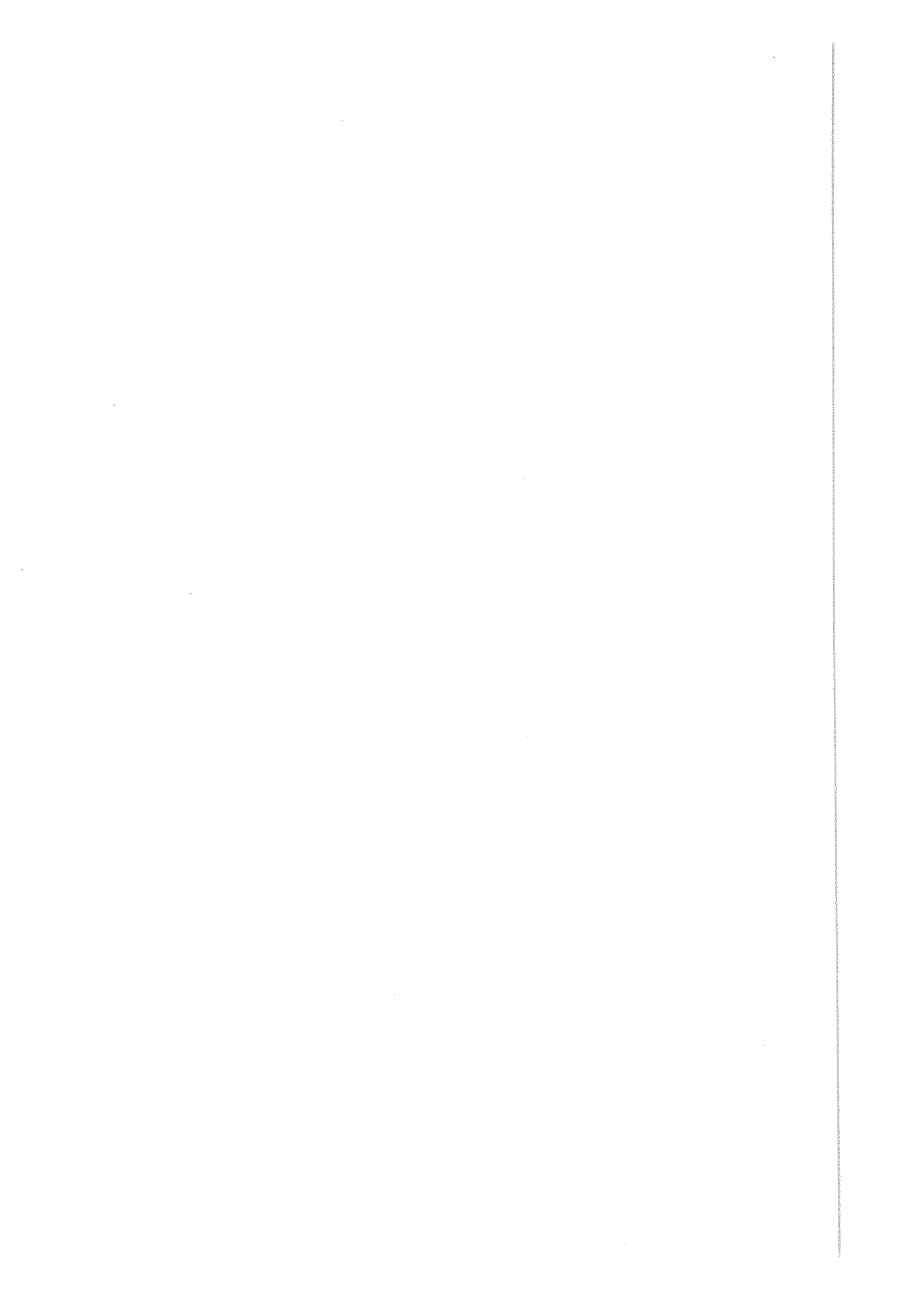
Domaća industrija mora slijediti ovaj razvoj, ali se pri tome moraju osigurati uvjeti za uspješno uvođenje novih tehnologija, kao i načini i tempo njihova uvođenja.

To izaziva goleme socijalne i ekonomske preobrazbe. Suprotno predviđanjima, kapitalizam se uspijeva brzo i efikasno prilagoditi novim situacijama. Naprotiv, u socijalizmu je ta prilagodba mnogo teža, a to posebno važi za Jugoslaviju kao nedovoljno razvijenu zemlju gdje se osim toga teško mijenjaju ideološke odrednice.

#### LITERATURA

1. J. Obradović, Rad i mikroelektronika: Sociološki i sociopsihološki pristup, Centar za idejno-teorijski rad CK SKH, Zagreb, 1988.
2. T. Šurina, Razvoj sistema i upravljanje mašinama, Zbornik radova: Nivo i tendencije razvoja u oblasti mašinogradnje, Sarajevo 1987. s. 327-344.
3. T. Šurina, Izazov novih tehnologija u strojogradnji Jugoslavije, Zbornik radova: BIAI: 88, s. 1-4.
4. ATAS Bulletin 2, United Nations, New York 1985.
5. A. Bajt, Dijalektika tehnološkoga in gospodarskega razvoja, Zbornik radova: Ziherlovi dani, Ljubljana 1988, s. 212-239.
6. Budućnost pripada informatici, Izdanje: Informatika i društvo, Zagreb, 1984.
7. T. Šurina, Putevi znanstvenog razvoja u Jugoslaviji, Naše teme 7-8, 1983, s. 1071-1073.
8. J.K.Galbraith, Nova industrijska država, Stvarnost, Zagreb, 1978.
9. J.J. Servan-Schreiber, Američki izazov, Epoha, Zagreb 1966.





Ž. Spasić, N. Tošković, G. Gligorijević \*<sup>1</sup>

CIM-TEHNOLOGIJE: STRATEŠKI KONCEPT RAZVOJNIH ORGANIZACIONIH JEDINICA NA PRIMERU JEDNE INDUSTRIJE

1. UVODNE NAPOMENE

S obzirom na potrebe za velikim ulaganjima u nabavku opreme i realizaciju programske podrške, kao i na tehnološki nivo industrije prerade metala može se postaviti pitanje o realnim mogućnostima izgradnje CIM-sistema u našim uslovima. Jedan od zaključaka nedavno održanog VIII jugoslovenskog simpozijuma "CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala" je da proizvodne organizacije treba da uspostave svoje CIM-koncepte koji će predstavljati strategiju u razvojnim aktivnostima njihovih razvojnih organizacionih jedinica. Tada će razvoj kompjuterizovanih sistema respektovati postavljene integracione zahteve kao i važeća ograničenja u njihovoj realizaciji.

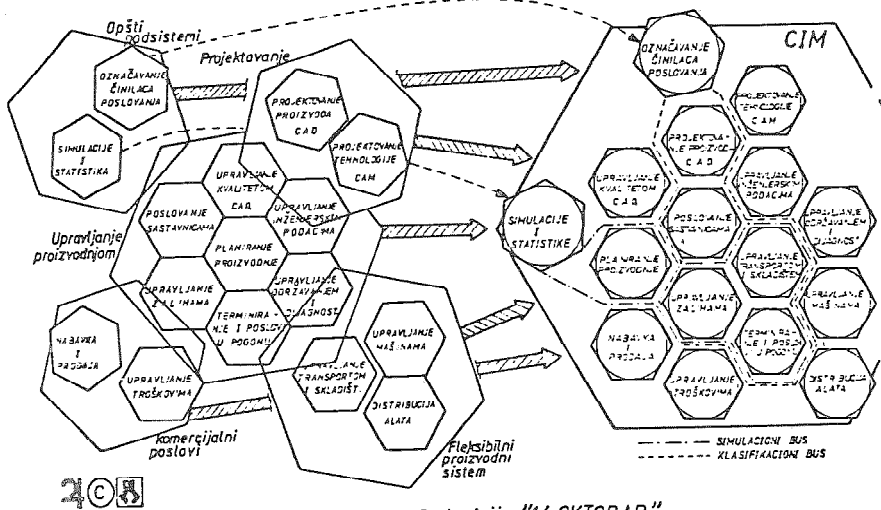
Industrija "14 OKTOBAR" - Kruševac definisala je [1] svoj CIM koncept integrišući pri tome CIM-podsisteme iz domena projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, fleksibilnih proizvodnih sistema, upravljanja proizvodnjom, komercijalnih poslova i opštih aktivnosti kao što su klasifikacioni sistemi i simulacije (slika 1).

2. CIM-KONCEPT KAO STRATEGIJA U RADU RAZVOJNIH ORGANIZACIONIH JEDINICA

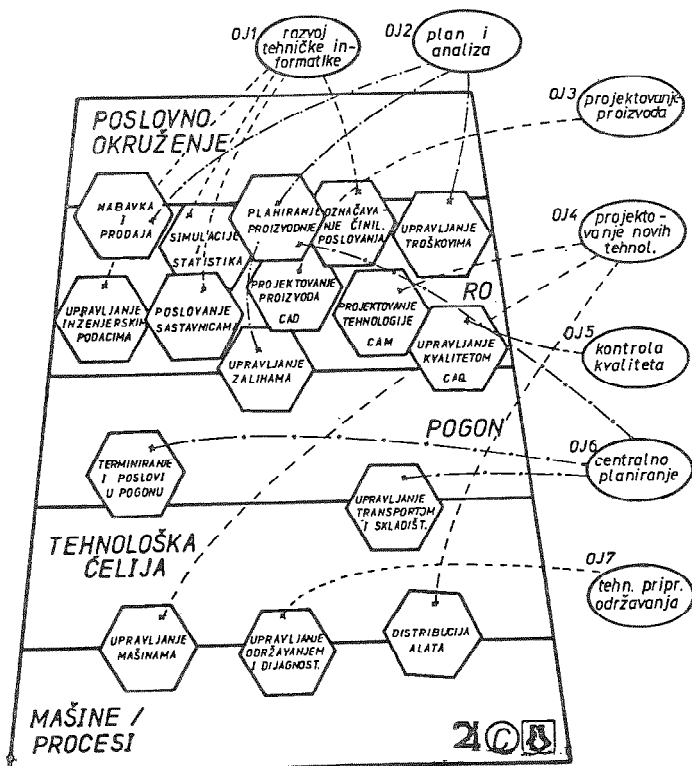
Uspostavljeni CIM-koncept predpostavlja realizaciju pojedinih CIM-podsistema distribuiranih (sl. 2) po nivoima (MAŠINE/PROCESI, TEHNOLOŠKA CELIJA, POGON, RADNA ORGANIZACIJA, POSLOVNO OKRUŽENJE) modela podacima vodjene fabrike [2,3]. Horizontalni i vertikalni informacioni tokovi modela, kompjuterskim mrežama povezanom opremom povezuju i organizacione jedinice obezbeđujući protok podataka uz razdvojene informacione kompetencije (generisanje, pravo na izmenu, korišćenje i odlučivanje). Organizacione jedinice industrije "14 OKTOBAR" kao nosioci razvojnih aktivnosti direktno su zadužene za realizaciju i primenu pojedinih podsistema i njihovih interakcija

<sup>1</sup> Žarko Spasić, dipl.ing, docent Mašinskog fakulteta u Beogradu, ul.27. marta 80

Nebojša Tošković, dipl.ing., Gligorije Gligorijević, dipl.ing., Industrija "14 OKTOBAR", Kruševac



Slika 1. CIM-koncept Industrije "14 OKTOBAR"



Slika 2. Organizacione jedinice i razvoj CIM - podsistema

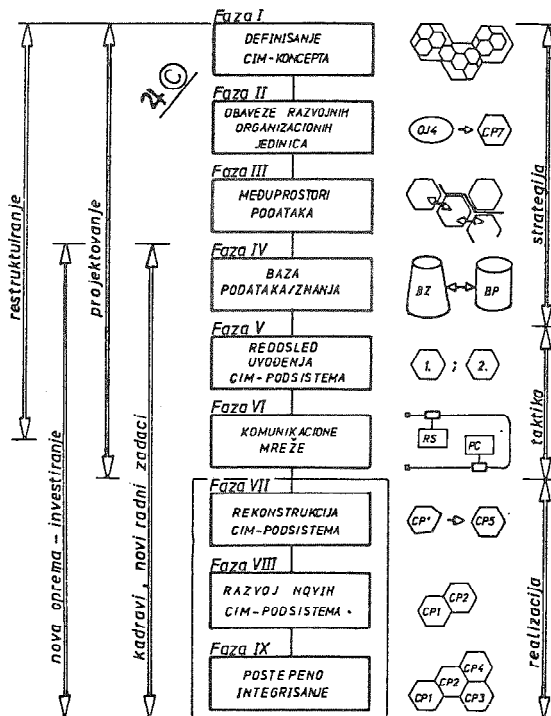
u integralnom sistemu. Oznake organizacionih jedinica koje pripadaju raznim OUR imaju sledeća značenja:

- OJ1: Razvoj tehničke informatike,
- OJ2: Plan i analiza,
- OJ3: Projektovanje proizvoda,
- OJ4: Projektovanje novih tehnologija,
- OJ5: Centralno planiranje,
- OJ6: Kontrola kvaliteta i
- OJ7: Tehnička priprema održavanja.

U fazi izgradnje CIM-podsistema navedene organizacione jedinice i njihovi kreativni kadrovi učestvuju u projektovanju medjuprostora podataka, u realizaciji potrebnog software kao i baze podataka/znanja. Koordinaciju razvoja izvode stručna tela Instituta. Realizovane CIM-podsisteme preuzimaju odgovarajuće organizacione jedinice uz izmenu opisa radnih mesta u sistematizaciji koji se odnose na nove radne sadržaje i uspostavljene kompetencije.

### 3. METODOLOGIJA REALIZACIJE CIM-SISTEMA U INDUSTRIJI

Metodologija realizacije CIM-sistema na primeru industrije "14 OKTOBAR" sadrži devet faza prikazanih redosledno na sl. 3. Uspostavljanje CIM-koncepta podrazumeva definisanje funkcija planiranja i upravljanja pojedinih CIM-podsistema a takodje i njihovu modularnu strukturu sa potrebnim informacionim resursima.



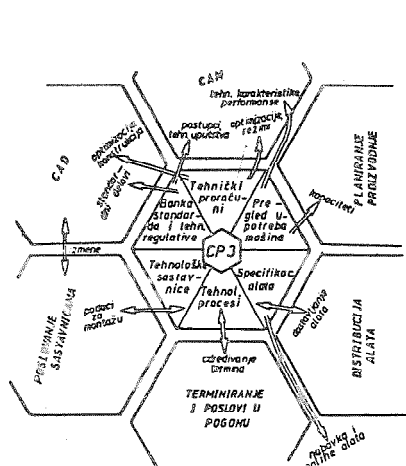
Slika 3. Metodologija realizacije CIM-sistema

Svaki CIM-podsistem u okviru ukupnog koncepta okružen je drugim podsistemima na osnovu logičkih informacionih medjuveza. Zaduženja pojedinih razvojnih organizacionih jedinica ( INSTITUTI; GOOR; SEKTORI; ODSECI; BIROI; SLUŽBE ) predstavljaju njihove neposredne zadatke u strategiji razvoja na osnovama uspostavljenog CIM-koncepta. Kako su pojedini CIM-podsistemi locirani na različitim nivoima usvojenog modela potrebno je odrediti medjunivojske veze horizontalnih i vertikalnih tokova informacija. U narednoj fazi definiše se baza podataka / znanja sa potrebnim medjuprostorima za informaciono povezivanje CIM podsistema kao njihov integralni informacioni resurs.

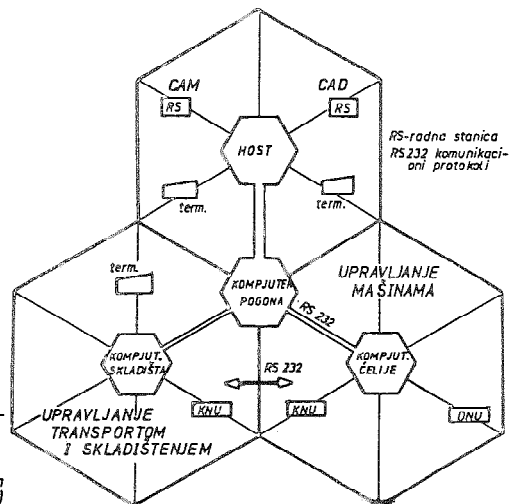
Redosled u realizaciji CIM-podsistema deo je strategije ukupne realizacije CIM-sistema a zavisi od raspoložive opreme i mogućnosti investiranja u nabavku nove opreme, raspoloživog sistemskog software, raspoloživog znanja, kadrova i definisanih medjuprostora podataka. Komunikacione mreže projektuju se za proizvodne pogone i projektantske organizacione jedinice (lokalne mreže) kao i za šire područje poslovnog okruženja.

Rekonstrukcija CIM-podsistema podrazumeva prestrukturiranje informacionih resursa i prilagodjavanje ulaza/izlaza integracionim zahtevima. Razvoj novih podsistema je multidisciplinarna aktivnost stručnjaka različitog profila. I najzad, u zadnjoj fazi nastaje postepeno integrisanje CIM-podsistema prema usvojenoj strategiji razvoja.

Slika 4 i slika 5 respektivno prikazuju detaljnije primere za faze III i VI usvojene metodologije koji se odnose na medjuprostore podataka i komunikacionih linija za realizaciju CIM-sistema.



Slika 4. Medjuprostor podataka za CIM-podsistem CP3 (Upravljanje inženjerskim podacima)

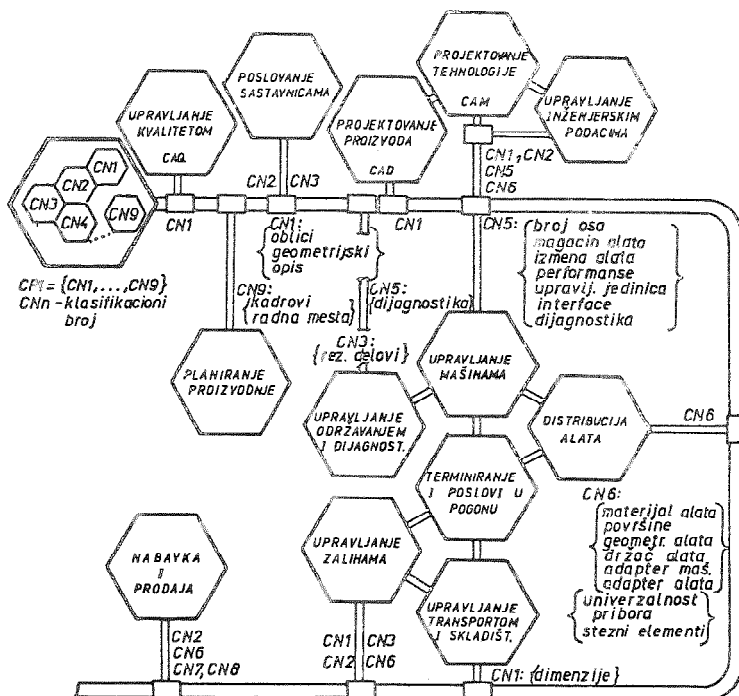


Slika 5. Komunikacioni medjuprostori za CIM-podsisteme (VI faza metodologije)

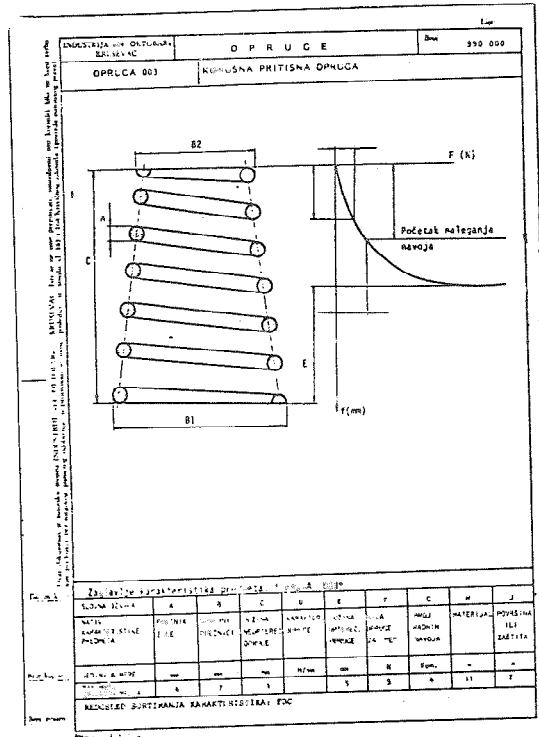
#### 4. PRIMERI ZA IZABRANI CIM-PODSISTEM

Integracioni trendovi u izgradnji CIM-sistema izmenili su znatno pristup u klasifikaciji činilaca poslovanja. Osnovne promene odnose se na sveobuhvatnost u delimičnoj bazi znanja i integraciju grafičke i alfanumericke informacije. Slika 6 prikazuje detaljnije CIM-podsistem za klasifikaciju činilaca poslovanja koji kroz tzv. klasifikacioni "bus" predstavlja informacijski resurs sa delimičnom bazom znanja za sve ostale CIM-podsisteme. Moduli ovog podsistema odnose se na delove i finalne proizvode (CN1); materijale (CN2); standardne delove (CN3); otkovke i odlivke (CN4); tehnološku opremu i ostala osnovna sredstva (CN5); alate i pribore (CN6); dokumentaciju (CN7); poslovne partnere (CN8) i kadrove sa radnim mestima (CN9).

Osnova za integraciju grafičke i alfanumericke informacije čini zaglavlje karakteristika činilaca poslovanja kao i programska podrška za medjuprotor podataka koji povezuju CIM-podsisteme za projektovanje proizvoda i upravljanje inženjerskim podacima (sl.7).



Slika 6. Klasifikacioni "bus" kao deo CIM - sistema



DATA: 28.03.1988 GODINE

PREGLED LISTE KARAKTERISTIKA: OPRUGA 003 STRANA: 1

---

OPRUGA - 003 - KONUSNA PRITISNA OPRUGA-OD OVRUGLE ŽICE

A-PREČNIK ŽICE MM B1/B2-SPOLJNI PREČNICI MM  
 C-DUŽINA NEOPTEREĆENE OPRUGE MM D-KARAKTERISTIKA OPRUGE N/MM  
 E-DUŽINA OPTEREĆENE OPRUGE MM F-SILA OPRUGE ZA E N  
 G-BROJ RADNIH NAVOJA KOM H-MATERIJAL  
 J-POVRŠINA ILI ZAŠTITA

\*STANDARDNI RAZPORED SORTA JE: F

\*ŠTAMPANI MATERIJAL SORTIRAN JE PG: F

ID. BROJ	A	B	C	E	F	G	H	J
026005	0,75	6,6-5,9	16	12,0	14,2	3,0	II	DIN 2076 FINI
229079	4,00	134-64	300	100,0	74,0	7,0	II	DIN 2076
219465	4,00	56-32	70	44,4	177,0	5,5	IV	DIN 2076 SREDNJI
228694	4,00	44-30	102	50,8	190,0	11,0	II	DIN 2076 SREDNJI
232027	6,00	56-54	95	42,0	503,0	5,0	II	DIN 2074 SREDNJI

KRAJ IZVEŠTAJA ZA OVAJ TIP

Slika 7.

## 5. ZAKLJUČAK

Izgradnja CIM-sistema ne treba da bude samo privilegija zemalja razvijenog sveta. Neophodno je da proizvodne organizacije industrije prerade metala uspostave svoje CIM-koncepte koji, uzimajući u obzir integracione trendove, predstavljaju stratešku osnovu za sve razvojne aktivnosti. Uspostavljeni koncept je obaveza svih razvojnih organizacionih jedinica za koordinirani razvoj svojih planiranih aktivnosti. Razvoj ili nabavka bilo kog kompjuterizovanog sistema mora da zadovolji uspostavljene relacije u CIM-konceptu.

Koncepti i konačna rešenja pojedinih industrija razlikovaće se medjusobno u zavisnosti od tehnološkog nivoa, instalisane opreme, software-alata, mogućnosti investiranja, raspoloživih znanja i motivisanosti kreativnih kadrova. To znači da se CIM-sistemi neće nabavljati na tržištu gotovih proizvoda već će predstavljati kombinaciju konvencionalnih i inteligentnih elemenata koje će ukomponovati proizvodne organizacije u saradnji sa istraživačkim institucijama.

Može se uspostaviti metodologija realizacije CIM-sistema koja sadrži višefazne aktivnosti restrukturiranja opreme i postojećih kompjuterizovanih sistema kao i nabavku opreme i komunikacionih protokola za razvoj novih CIM-podsistema. U okviru saveznih projekata kao sto je projekt "Fleksibilne proizvodne tehnologije i fleksibilne automatizovane fabrike" neophodno je udruživanje zajedničkih napora proizvodnih organizacija. Jedan od projektnih izlaza je i detaljna razrada uspostavljene metodologije sa definisanjem opštih i posebnih elemenata za izgradnju CIM-sistema.

Realizacija CIM-sistema zahteva ovladavanje novim tehnologijama kao i definisanje novih radnih sadržaja. Od naše spremnosti da odmah prihvatimo sve neophodne promene zavisiće dalji razvoj industrije prerade metala kao i njena sposobnost da odgovori na sve strožije kriterijume tržišta.

### Reference

- [1] Spasić, Ž., Spasić, V., Savić, R., Gligorijević, G., Tošković, N.: CIM-koncept za fabrike budućnosti: primer za Industriju "14 OKTOBAR" - Kruševac, TEHNIKA - Mašinstvo 36, Broj 9, God. XXXVI, Beograd, 1987, Str. 809-812
- [2] Duelen, G.: Die Informationsarchitektur in datengetriebenen Fabriken, PTK 86 - CIM Die Informations-Technische Herausforderung, Berlin, 1986, Str. 56-66
- [3] Spasić, Ž., Putnik, G.: Tok informacija u podacima vodjenim fabrikama CIM-koncepta, VIII jugoslovenski simpozijum "CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala", Cavtat, 1989, Str. 75-83
- [4] Milačić, V.: Nove nauke i nove tehnologije za fabrike budućnosti, VIII jugoslovenski simpozijum "CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala", Cavtat, 1989



- [5] Peklenik, J.: Proizvodna tehnologija in integracija delovnih sistemov, XXI Savjetovanje proizvodnog strojarstva Jugoslavije, Opatija, 1987
- [6] Weck, M.: Lösungen für den Informationsfluß in CIM-Systemen und deren Grenzen, PTK 85 - CIM Die Informations-Technische Herausforderung, Berlin, 1986, Str. 48-58

Ž. Spasić, N. Tošković, G. Oligorijević \*1

CIM-TECHNOLOGY: STRATEGIC CONCEPT OF DEVELOPMENT  
DEPARTMENTS TAKING AN INDUSTRY AS AN EXAMPLE

S u m m a r y

CIM-systems (Computer Integrated Manufacturing) integrate interdisciplinary computer related technologies (manufacturing, information and communication) as well as all information resources of one production organization. CIM-concepts as strategies for developing activities have to be established in our industry immediately. The concepts of individual industries will differ depending on technological level, installed equipment, available software-tools, existing knowledge and motivation as well. This paper considers the methodology for developing of CIM-systems for metalworking industry together with an example with reference to classification system as one of the CIM-subsystem.

R.Drevenšek, M.Bučan, L.J.Vuletić, S.Nikolić

PLANIRANJE I REALIZACIJA FLEKSIBILNIH  
OBRADNIH SISTEMA

1. UVOD

Proizvodnja posebno, ali isto tako i čitavo naše poslovanje u Jugoslaviji, u industriji prerade metala, uglavnom je na konvencionalnoj osnovi:

Rukovodjenje, osvajanje tržišta, planiranje, razvoj i konstrukcija, proizvodnja i kontrola, plasman i servisiranje itd., itd. Svemu ovome potrebna je "renesansa" na osnovama novih znanja.

Zašto "sporo tapkamo" u primeni-osvajanju novih tehnologija. Dok mi načinimo jedan korak u tom smeru, razvijeni načine pet pa čak i deset!

Jedan od glavnih razloga je, naše uporno nastojanje da sa konvencionalnim znanjem i zastarelom tehnikom, želimo osvojiti bastion koji se zove međunarodno tržište.

Međunarodna konkurencija sve više utiče na razvoj i proizvodnju složenijih proizvoda, koji se iz godine u godinu dopunjuju ili menjaju. Ovo dovodi do toga da je nužno smanjivati serije a proširivati asortiman iz čega sledi da se tržište mora sagledavati kratkoročnije. Fabrike moraju da se osposobe da izradjuju različite proizvode visoke kompleksnosti i kvaliteta, u promenljivim serijama i to sve u što kraćem vremenu i sa što manjim troškovima. Kako da se što pre udje u društvo onih proizvođača, koji mogu munjevito da reaguju na nepredvidive zaokrete današnjeg međunarodnog tržišta? Šta da radimo i kako da se organizujemo da nam i pri hirovitom ponašanju tržišta, ne opadne produktivnost? Pravi odgovor na ova i slična pitanja je SPROVODITI AUTOMATIZACIJU.

## 2. AUTOMATIZACIJA

Nikako borba za automatizaciju po svaku cenu, niti automatizacija iz taktičnih razloga. OPTIMALNA AUTOMATIZACIJA, DANAS FLEKSIBILNA AUTOMATIZACIJA, MORA DOBITI ZNAČAJ STRATEŠKE ODLUKE [1].

Moramo znati da će opstanak mnogih proizvodnih preduzeća, u sledećih nekoliko godina, zavistiti od toga, da li će uspeti pravovremeno da zamene zastarele mašine, savremenim visokoautomatizovanim obradnim koncepcijama [2]. Sa fleksibilnom proizvodnjom čiji su osnovni činioci fleksibilni obradni sistemi, moguće je ostvariti visok nivo automatizacije i u maloserijskoj proizvodnji. U slučajevima najvišeg nivoa fleksibilnosti ovih sistema, moguće je proizvoditi proizvode koje tržište trenutno traži. Krajnji cilj je ostvariti visok nivo ekonomičnosti pojedinačne proizvodnje. Fleksibilnost [3], osnovni parametar fleksibilne proizvodnje, je sposobnost prilagođavanja različitim proizvodnim zadacima koji u okviru fleksibilne proizvodnje mogu biti uslovljeni različitom geometrijom proizvoda, različitom tehnologijom proizvodnje, različitim količinama proizvoda ili različitim vremenima trajanja proizvodnog procesa. Osnovni razlog što uopšte težimo ka fleksibilnosti proizvodnih procesa je nemogućnost da budući razvoj našeg proizvoda egzaktno prognoziramo.

Proces unutar fleksibilne proizvodnje sastavljen je iz neometanog međusobnog uticaja:

- mašina, postrojenja i uređaja
- toka materijala i alata i
- toka informacija

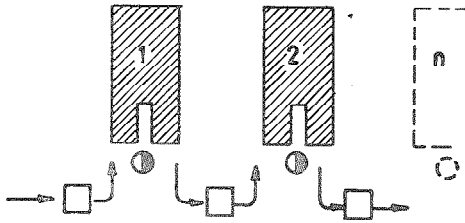
Pri tome nivo automatizovanosti proizvodnog procesa vrednuje se po tome u kojoj meri je svako od ova tri područja automatizovano.

## 3. PLANIRANJE I REALIZACIJA

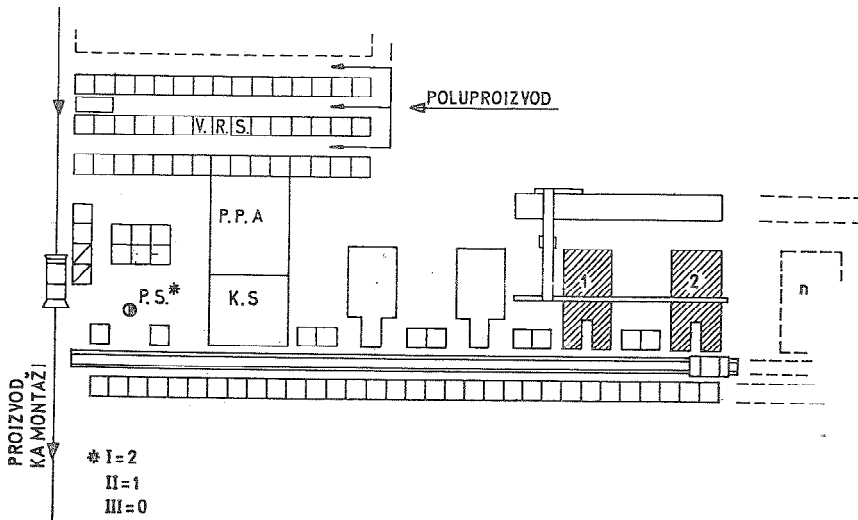
Izbor i uvodjenje optimalnog nivoa automatizacije u okviru fleksibilne proizvodnje moguće je samo uz temeljito planiranje svakog proizvodnog zadatka (proces) posebno.

Potrebno je naglasiti da je svaka fleksibilna proizvodnja usmerena na strogo odredjen proces, da je taj proces rezultat korisnikovih potreba i da se iz tog razloga u procesu odvijaju samo one radnje koje su tom sistemu pridružene [4]. Ako problematiku optimalnog rešenja posmatramo iz ugla fleksibilnih obradnih sistema (FOS), najčešće dobijamo više rešenja zavisno od toga kojim parametrima smo dali veći značaj [5].

Od dve krajnosti, minimum automatizacije sl.1 ili maksimum automatizacije sl.2. realni sistemi su uglavnom izmedju ova dva ekstrema.

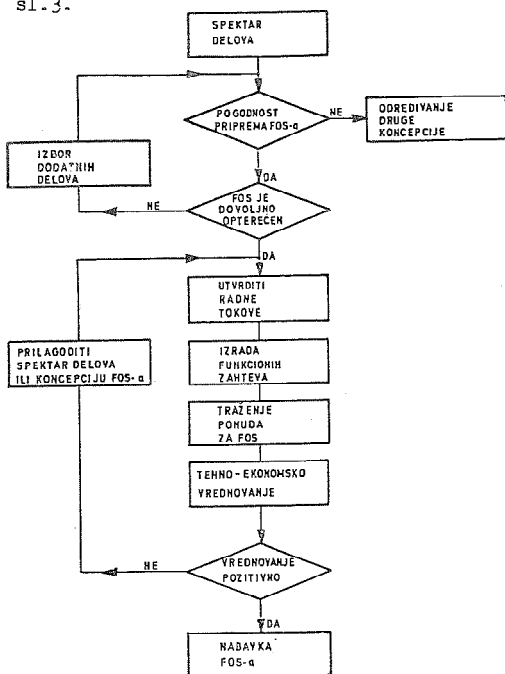


Sl.1 Dva visokoautomatizovana obradna centra sa opslužiocima i minimalnim nivoom automatizovanosti vlastitog okruženja



Sl.2 Dva visokoautomatizovana obradna centra u sklopu visokoautomatizovanog fleksibilnog obradnog sistema (FOS-a).

Sa rastom veličine i složenosti planiranog obradnog sistema, raste i broj varijanti mogućih koncepcija, a ovo znači, više angažovanja pri planiranju. Zbog svoje složenosti koja sobom nosi visoku investicionu angažovanost, fleksibilni obradni sistemi se uvode u proizvodne hale samo onda kada se dokaže njihova ekonomičnost. Ovo se vrši pomoću računara i posebnih simulacionih metoda. Jedan opšti tok procesa definisanja konfiguracije FOS-a prikazan je na sl.3.

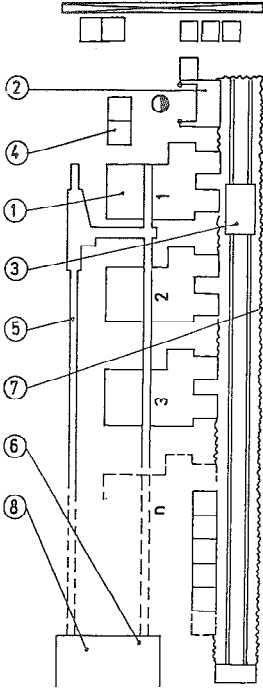


Sl.3 Tok pri planiranju FOS-a

obradjivati na planiranom FOS-u, potrebno je izvršiti izbor delova, odnosno formirati familiju delova na osnovama kombinacije geometrijskih, tehnoloških i organizacionih kriterijuma [6].

Daljom tehnološkom razradom proizvodnog zadatka mora da se utvrdi i tok procesa izrade ovih delova. Iz projektovanih tokova materijala i alata u odnosu na obradne stanice, proizilaze funkcioni zahtevi za načinom i tokovima obrade, koji sa dispozicijom svih modula FOS-a, i njegovim opisom, predstavljaju polazne elemente za izradu predprojekta. Ovakav predprojekat se mora izraditi. Korisnik budućeg FOS-a najbolje poznaje vlastiti razvoj proizvoda, proizvodnu problematiku kao i trend svega ovoga, zato odgovornost za ispravno planiranje i realizaciju FOS-a na prvom mestu leži kod korisnika.

Potrebno je još jednom naglasiti da planiranje FOS-a znači. iznaći takvu strukturu, u kojoj će sve komponente kao i njihov međusobni odnos biti optimalni tehnološkim potrebama ali i ekonomičan u eksploataciji. Da bi se planirana proizvodnja i ostvarila, jedan od sledećih preduslova je da svaka pojedina komponenta (modul) FOS-a, slika 4, mora imati visok nivo pouzdanosti kako bi se ostvario visok nivo pouzdanosti samog FOS-a. Kako su troškovi realizacije FOS-a srazmerni potrebnoj fleksibilnosti, koju opet uslovljava spektar delova koji želimo



	ZAJEDNIČKE KOMPONENTE	ZA PALETE			
		1600x500	1600x600	1200x1000	1150x1250 1400x1600
① RADNE STANICE					
◦ OBRADNI CENTRI		X	X	X	
◦ MERNI CENTRI		X	X	X	
◦ MAŠINE ZA PRANJE		X	X	X	
② STANICE ZA OPSLUŽIVANJE					
◦ FIKSNE		X	X	X	
◦ OKRETNE		X	X		
◦ OKRETNO/ZAKRETNO SA ZASTITOM		X	X		
◦ TERMINAL	X				
◦ TRANSPORTER STRUGOTINE + EMULZIJA	X				
③ VOZILA					
◦ ŠINSKA		X	X	X	
◦ ŠINSKA SA LIFTOM (3 NIVOJA)		X			
◦ TRASE ZA ŠINSKA VOZILA		X	X	X	
◦ DOVOD ENERGETIKE ZA ŠIN. VOZILA	X				
◦ UPRAVLJ. JEDINICA	X				
④ STANICE ZA ODLAGANJE					
◦ PUFERI 1 STANIČNI ZA ALATE	X				
◦ -II- 2 -II- ZA DELOVE		X	X		
◦ -II- 3 -II- ZA DELOVE		X	X		
◦ -II- REGALNI (3 NIVOJA)		X			
⑤ AUTOMATSKA IZMENA ALATA (SKLAD -MAGACIN MASINE)					
◦ ROBOT	X				
◦ PORTAL	X				
⑥ UPRAVLJANJE FOS-om					
◦ STANDARDNO	X				
◦ SA VIZUELNIM PRACENJEM (TV-KAMERE)	X				
⑦ OPREMA					
◦ ZAŠTITNE OGRADE (MEHANIČKE, ELEKTRONSKE)	X				
◦ VRATA, PROLAZI	X				
⑧ PRIBOR					
◦ PALETE (ZA DELOVE)		X	X	X	
◦ NOSAČI ALATA		X	X	X	
◦ MAŠINE ZA PODESAVANJE ALATA	X				
- STANDARDNE	X				
- KOMUNIKACIJA SA RAČUNAROM	X				
◦ RUČNO VOZILO ZA TRANSPORT ALATA	X				
◦ ELEMENTI ZA SKLADIŠTENJE ALATA	X				

\* POSEBNO IZVOĐENJE 1600x4000

#### Sl.4 Komponente (moduli) LOLA-FOS-a

Korisnik mora još za vreme planiranja i projektovanja da upozna ovaj sistem, da svoje osoblje koje će ga opsluživati obučiti, kako bi mogao da razvija sam svoj specifični aplikativni software, da izradjuje NC-programe za mašine i slično. Neophodno je da korisnik ovih sistema, pri planiranju i projektovanju FOS-a, organizuje timsku sradnju svih činilaca u proizvodnom ciklusu:

- Savetnik (spoljni naučni radnik)
- Prodaja i marketing proizvoda
- Konstrukcija proizvoda
- Planiranje proizvodnje
- Priprema proizvodnje
- Kontrola kvaliteta proizvoda
- Planiranje radnog prostora
- Održavanje
- Automatska obrada podataka

Prodaja i marketing proizvoda treba da sagleda kakav će uticaj na proizvod imati dugoročno sagledavanje tržišta? Da li se očekuju samo manje promene ili se očekuje totalna promena programa proizvodnje?

Neke aktivnosti koje pritom treba obaviti:

- Iznaći koji proizvod ili grupu proizvoda plasirati?
- Iznaći koje izvodjenje, kojem tržištu nuditi?
- Iznaći koja je to količina, i po kojoj ceni nuditi?
- Analizirati naš položaj u odnosu na konkurenciju?
- Proceniti vek trajanja posla(god.) sa tendencijom porasta ili opadanja plasmana?
- Da li se za taj period očekuje neznatna ili znatna promena na proizvodu:

- drugi materijal,
- promena geometrije nekih veličina.
- povećan broj nekih zahvata.
- uvođenje dodatnih delova u proizvodnju.

- Predvideti eventualne promene u tehnologiji izrade koji mogu nastati usled:

- promene na proizvodu,
- promene usled primene novih alata, pribora i/ili uredjaja,

Ova razmatranja se sprovode sve dok se ne iznadje koji je to proizvod čiji plasman nam obezbedjuje što bolju poslovnost, odnosno finansijsko pokriće troškova te proizvodnje, amortizaciju svih dotadašnjih ulaganja, kao i poslovnu dobit.

Konstrukcija proizvoda dužna je da odabrani proizvod analizira sa stanovišta:

- razvoja proizvoda u smeru savremenih rešenja,
- konstruisanja proizvoda maksimalnom primenom tipiziranih ugradnih modula,
- standardizacije i unifikacije mašinskih detalja prilagodjenih tehnološkim mogućnostima predloženog obradnog sistema,
- prilagodjavanja tehničke dokumentacije (radioničkog crteža) zahtevima novih tehnologija:
  - liveni delovi od preciznog liva,
  - kotiranje prilagoditi zahtevima konkretnih mašina (apsolutni ili relativni sistem kotiranja),
- izrada steznih, specijalnih reznih, pomoćnih i drugih alata i pribora itd.itd.....

Konstrukcija proizvoda mora da respektuje tražnju tržišta (kojeg, to će mu marketing reći), i da prateći trend sličnih ili graničnih proizvoda još na početku stvaranja proizvoda za tržište, pruži mogućnost prilagodjavanja proizvoda novonastalim zahtevima. Primer:

- Glava motora načinjena od preciznog sivog liva predviđa se da kroz godinu dana bude od legure aluminijuma,
- Četiri - cilindrični motor kroz dve godine razviti u šestocilindrični motor tako da se tržištu nadalje nude oba motora.

Konstrukcija mora već danas da respektuje tu sutrašnju dopunu.

Planiranje proizvodnje treba da, pomoću računarske simulacije, proveri ponašanje sistema pri:

- promeni toka materijala (delova i alata)
- nedostatku materijala (delova i alata)
- povećanoj tražnji nekih delova i slično.

Potrebno je da se odrede optimalni proizvodni uslovi, veličina serije, protok delova prema montaži i slično. Mora se odrediti koje operacije slede posle mehaničke obrade (montaža, kontrola, lakiranje, pakovanje i sl.) kako ne bi nastali zastoji. Mora se odrediti način transporta delova od/do FOS-a kao i koje ostale operacije treba u FOS integrisati (pranje, obaranje ivica, merenje-kontrola, montaža).



Planiranje proizvodnje dužno je da kontinuirano prati proizvodnju i ona MORA da teče na planirani način ( u dve ili tri smene), čija angažovanost ne sme biti manja od planirane (min 85%) i koja mora biti obezbedjena konstantno za 15 dana unapred (materijal, alati, NC-programi itd.).

Priprema proizvodnje mora da proveri zadate radne tokove, vremena, obrade, režime rezanja, kao i koje postojeće NC-programe koristiti, koje prepraviti a koje iznova uraditi. Vršiti vremensku simulaciju izabranog toka radi optimiranja tekućeg procesa. Ona utvrđuje koje metode koristiti, na koji način, vrši izbor alata, sastavlja liste alata, metode stezanja i slično. Kontrola kvaliteta proizvoda utvrđuje dosadašnju problematiku kontrole proizvodnje. Izradjuje kriterijume kontrole unutar FOS-a (koje mere kontrolisati, koje tolerancije održati) i utvrđuje nivo integracije ove problematike unutar sistema (na primer potpuna integracija merne mašine u sistem, delimična ili.....). Ona utvrđuje i vrši izbor mernog pribora, alata, uređaja i slučno.

Planiranje radnog prostora izradjuje plan proizvodnih hala (temelji, odvođenje strugotine, napajanje strujom, vazduhom i slično). Ova radna grupa određuje ko će preuzeti pojedine poslove unutar sistema, vrši terminiranje praćenje ovih poslova i slično.

Obradi podataka mora se posvetiti najveća pažnja. Odgovarajuća služba mora proveriti da li je potrebna komunikacija FOS-a sa fabričkim računarnom. Koje organizacione informacije su potrebne? Koji propisi su važeći za hardware i software podršku? Potrebno je posebno naglasiti da potpuna integracija FOS-a u celokupan informacioni sistem nije pomodarstvo već racionalizacija najvišeg nivoa. Kada je planiranje završeno i kada je utvrđena konfiguracija sistema, potrebno je izvršiti računarsku simulaciju rada FOS-a. Ovim se potvrđuje da li se usvojenom konfiguracijom pod određenim uslovima, može ostvariti zadata proizvodnja. Simulacija se izvodi u fazi planiranja sistema kao i u toku eksploatacije sistema. Između ostalog, na osnovu ove simulacije biramo vrstu transportnog sistema, konstruktivna rešenja, kao i uticaj transportnog sistema na proizvodnost FOS-a. Simulacijom utvrđujemo potrebne transportne tokove, količinu paketa radnih predmeta ali i stanica za njihovo odlaganje ("Pufere"), režime rada FOS i slično. Simulacija nam otkriva "uska grla" u proizvodnom procesu FOS-a, uticaj različitog spektra delova na tok proizvodnje, u kom prostoru se FOS može proširiti itd..

Sve pomenute aktivnosti služe nam da bi došli do optimalnog rešenja FOS-a za dati proizvodni zadatak.

Odluka koji FOS nabaviti od ponudjenih, manje, ili više automatizovan, je stvar vrednovanja. pri čemu se od više ponuda nabavlja ona konfiguracija koja je po svim tehnokonomskim merilima najbliža optimalnom rešenju.

Vrednovanje različitih rešenja [7] svodi se na analizu, problematike:

- tehničke koncepcije i pouzdanost i
- fleksibilnost i ekonomičnost konkretnog sistema.

Za složeno vrednovanje potrebna je izrada matrica po različitim kriterijumima u što se ovim prilogom ne bi ulazilo.

#### 4. ZAKLJUČAK

Praksa FOS-a [8] je pokazala da ovi sistemi nisu pomodarstvo i da o njima postoje već velika praktična iskustva. U našoj zemlji nije ni jedan instalisan koji bi vredelo pomenuti. Nužno je da učimo i da tu novu proizvodnu filu ofiju uvodimo u naša preduzeća. To možemo uspešno samo onda kada budemo imali takve kadrove koji će biti sposobni da od njih "izvuku" maksimalnu proizvodnju uz optimalna ulaganja.

#### 5. LITERATURA

- [2] INGERSOLL-Report: Flexible Fertigungssysteme, Springer - Verlag, 1985.
- [1] Tz-fm: Flexible Fertigungssysteme am Scheideweg, tz für Metallbearbeitung 1/1984.
- [3] Eversheim, W.: Flexibilität als Kriterium, VDI-Z, 9/1985.
- [4] Bućan, M.: Prilog planiranju i realizaciji fleksibilnih obradnih sistema, Nikolić .S. Jupiter-sistem, Cavtat - 1987
- [5] Drevenšek, R.: Automatizacija u industriji prerade metala Mirjanić, N. primenom robotizovanih sistema 3-Seminar, Bućan, M. JUROB-88
- [6] Ewersheim, W.: Das Werkstückspektrum bestimmt die Flexibilität, Industrie anzeiger 47-78/1983
- [7] Schlotterbeck, H.: Entscheidungskriterien für ein Flexibles Fertigungssystem. VDI-Berichte Nr.441-1982
- [8] Büdenbender, W.: Flexible Fertigungssysteme in der Praxis, Scheller, T. VDI-Z, 10/1987.

## 6. PLANUNG UND EINFUEHRUNG FLEXIBLER FERTIGUNGSSYSTEME

In einer grossen Anzahl von Firmen in unserem Land ist die Produktion noch immer auf klassisch - konventionaler Basis organisiert. Flexible Fertigungssysteme sind schon heute eine unersetzliche Komponente jeder modern organisierter Produktion. Dieser Beitrag ist ein Versuch der Beantwortung einiger grundsatzlicher Fragen:

Sollen diese Systeme in die Produktionswerkstaetten eingefuehrt werden? Welche Voraussetzungen und welche Bedingungen muessen ausgefuellt werden um eine solche Produktion planieren zu koennen, und wie soll die Planung und Einfuehrung der Projekte flexibler Fertigungssysteme durchgefuehrt werden?

D. Novaković, M. Zeljković, J. Rekecki, R. Gatalo\*

PODLOGE ZA RAZVOJ KONCEPCIJE MODULARNOG PROJEKTOVANJA  
NUMERIČKI UPRAVLJANIH FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH  
STRUKTURA ZA OBRADU ROTACIONIH DELOVA\*\*

1.0 UVODNA RAZMATRANJA

Već niz godina u Laboratoriji za mašine alatke Instituta za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu se radi na planu za stvaranje podloga za razvoj numerički upravljanih (NU) fleksibilnih tehnoloških (FT) struktura različitog nivoa složenosti. Dosadašnjim istraživanjima stvorene su značajne podloge za razvoj FT struktura za obradu delova rotacionog oblika. U okviru ovog rada iznose se neki rezultati od značaja za razvoj koncepcije modularnog projektovanja NU FT struktura za obradu delova rotacionog oblika.

NU FT strukture u praktičnim izvedenim rešenjima imaju više-nivovsku strukturu. Pripadnost odredjenoj strukturi definiše se na bazi parametara koji je karakterišu (slika 1).

Osnovni nivoi NU FT struktura su:

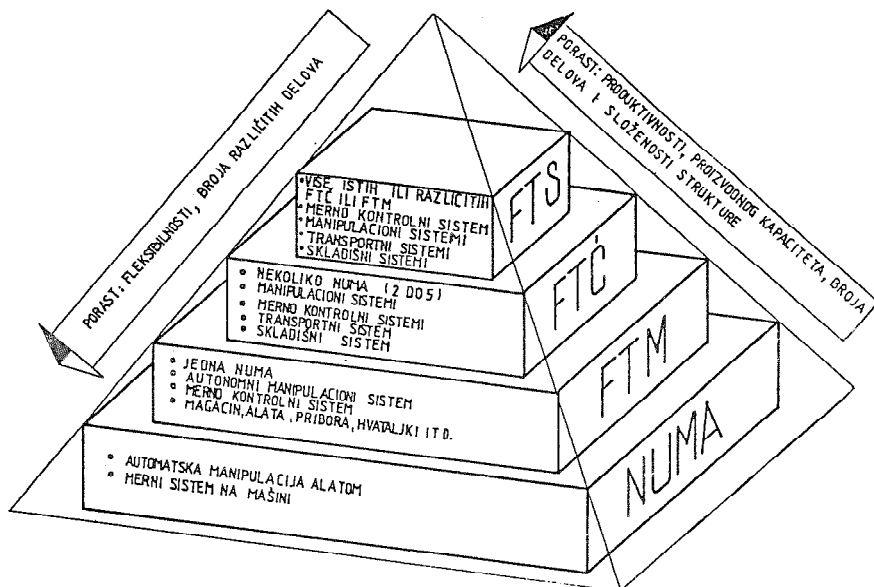
- mašina alatka (NUMA)
- fleksibilni tehnološki modul (FTM)
- fleksibilna tehnološka ćelija (FTĆ)
- fleksibilni tehnološki sistem (FTS)

Komponovanje osnovnih nivoa NU FT struktura u principu se vrši iz sledećih sistema:

- obradnih
- merno kontrolnih

\* Novaković Dragoljub, dipl.ing., Zeljković mr Milan, dipl.ing., asistent, Rekecki dr Jožef, dipl.ing., red.prof., Gatalo dr Ratko, dipl.ing. red.prof. Institut za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad,

\*\* Rad je proizašao iz istraživačkog projekta "Fleksibilni automatski proizvodni sistemi u oblasti alatnih mašina" čiju realizaciju finansira SIZ NR Vojvodine.



Sl. 1. Piramida gradnje osnovnih nivoa NU FT struktura

- manipulacionih
- transportnih i
- upravljačko informacionih.

Na bazi ovako postavljenih struktura nedvosmisleno se nameće zaključak o potrebi razvoja koncepcije njihovog modularnog projektovanja i komponovanja.

## 2.0. ANALIZA IZVEDENIH STRUKTURA

U cilju dobijanja što višeg nivoa fleksibilnosti primene projektovanih modula FT struktura značajno je raspolagati sa podacima o njihovim izvedenim rešenjima i primeni za dobijanje delova različitog geometrijskog oblika. Prema geometrijskom obliku delova koji se na njima izradjuju NU FT struktura se mogu, klasifikovati na:

- NU FT struktura za rotacione delove
- NU FT struktura za rotaciono-prizmatične delove
- NU FT za prizmatične delove

I bez detaljnije analize sastava NU FT struktura može se uočiti da postoje određeni zajednički segmenti (moduli) u okviru prethodne podele. Tako npr. u NU FT strukturama za obradu prizmatičnih delova postoji i određen broj obradnih sistema za ro-

tacione delove (strugovi, brusilice i sl.) i obrnuto. Ova konstatacija ima poseban značaj za proces projektovanja modula u kojem se trebaju uzeti u obzir i svi faktori koji će povećati fleksibilnost primene modula. Pri tome se pod fleksibilnošću primene modula podrazumeva "razmenljivost" modula FT struktura.

Na bazi postavljene koncepcije [1] kroz istraživanja su prikupljeni i analizirani raspoloživi podaci o 200 FTS iz 16 zemalja sveta. U nastavku se (slike 2a i 2b) daje prikaz odredjenih rezultata analize. Zbog ograničenosti prostora ovde se rezultati analize ne komentarišu.

### 3.0 KONCEPCIJA MODULARNOG PROJEKTOVANJA FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA

Projektovanje fleksibilnih tehnoloških struktura je vrlo kompleksan i složen proces sa značajnim nizom uticajnih faktora koji se pojavljuju u stvaranju osnovne koncepcije strukture. Na bazi sprovedene analize sintetizovani su opšti modeli FT struktura (slika 3).

Osnovnu strukturu (sastav) odredjenog nivoa FT strukture čine odredjeni sistemi (slika 3) koji se komponuju na bazi osnovnih modula za njihovu gradnju. Osnovni moduli čine osnovu tehnološkog funkcionisanja sistema. Princip modularnosti gradnje je osnovna filozofija projektovanja fleksibilne strukture bilo kojeg nivoa složenosti. Strukture se izvode na bazi raspoloživog fonda modula odredjenim postupkom prema zahtevima koje treba da zadovolji ta struktura (tehnološkj, konstrukcioni itd.), (slika 4).

Raspoloživi fond modula izveden je iz opšteg modela FT strukture. Na slici 5 dat je prikaz strukture osnovnih modula strugarskog obradnog sistema.

Osnovni moduli noseće strukture strugarskog obradnog sistema prikazani su na slici 6.

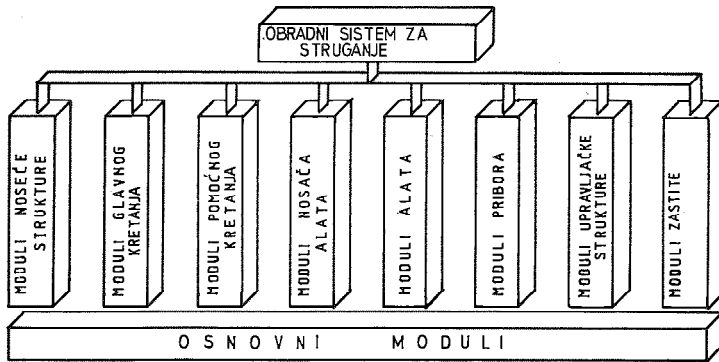
Komponovanje odredjene strukture vrši se na bazi fonda raspoloživih veličina modula. Na slici 7 daje se prikaz raspoloživog fonda osnovnih modula jednog od oblika vreteništa u okviru modularno gradjene noseće strukture obradnog sistema na bazi mašina za obradu struganjem.



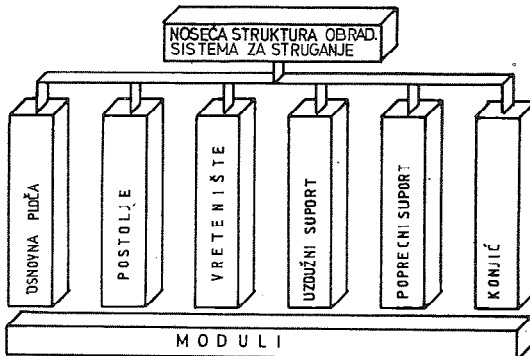






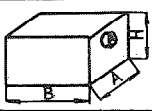


Sl. 5. Osnovni moduli strugarskog obradnog sistema

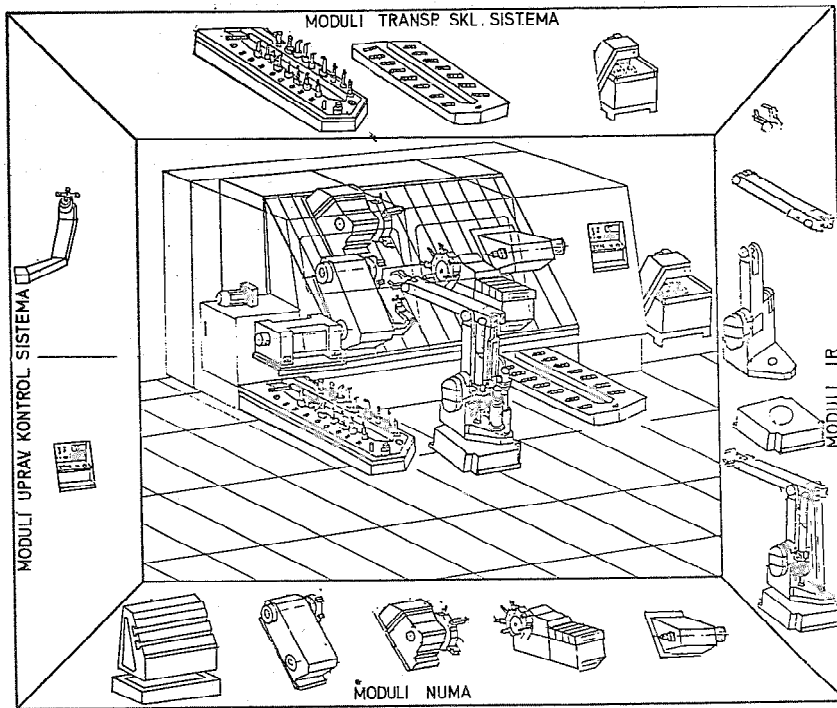


Sl. 6. Moduli noseće strukture strugarskog obradnog sistema

Primer komponovanja strukture određenog nivoa složenosti (FTM) na bazi modula strukture dat je na slici 8. Komponovanje ove strukture vrši se na bazi raspoloživog fonda veličina modula.

	VELIČINE VRETENIŠTA				
	V1	V2	V3	V4	V5
A [mm]	550	600	850	1100	1500
B [mm]	600	650	1000	1300	1800
H [mm]	400	450	650	900	1250

Sl. 7. Varijante modula vreteništa (V)



Sl. 8. Primer komponovanja strukture FTM na bazi fonda modula

#### 4.0 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Rezultati prikazani u ovom radu nametnuli su potrebu sledećih daljnih istraživanja u cilju:

- iznalaženja kvalitetnog metoda praćenja razvoja FT struktura i prilagodjavanje osnovnih modula razvojnim tendencijama
- razvoja i razrade osnovnih modula FT struktura, i koncepcija njihovog komponovanja u strukture različitog nivoa složenosti
- razvoja koncepta automatskog projektovanja i komponovanja struktura različitog nivoa složenosti.

## REFERENCE

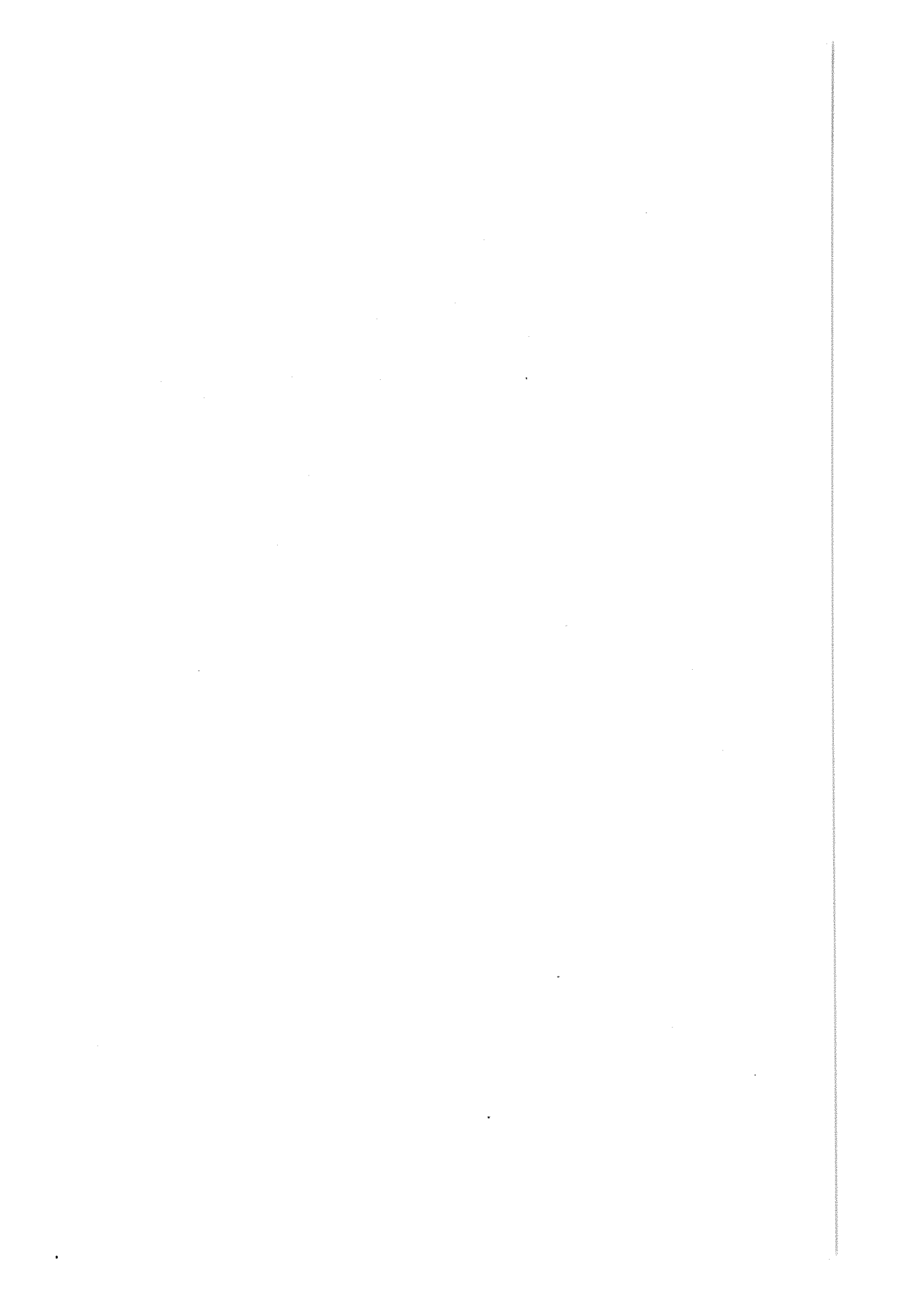
- [1] REKECKI, J., GATALO, R., BOROJEV, Lj., HODOLIČ, J., ZELJKOVIĆ, M., KONJOVIĆ, Z., RAJŠLI, Z., KOVAČEVIĆ, S., VASIĆ, S., SEŠKAR, I.: Istraživanje podloga za razvoj NU fleksibilnih tehnoloških sistema (FTS) za obradu rotacionih izradaka - prva faza; elaborat naučnoistraživačkog podprojekta, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1986.
- [2] REKECKI, J., GATALO, R., BOROJEV, Lj., HODOLIČ, J., ZELJKOVIĆ, M., KASAŠ, I.: Istraživanje podloga za razvoj NU sistema upravljanja na bazi aktivnog merenja pri obradi rezanjem rotacionih izradaka, sa posebnim osvrtom na fleksibilne proizvodne sisteme, elaborat istraživačke teme, Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad 1981.
- [3] WETTIN, G.: Analyse der Konzeptionen Flexibler Fertigungssysteme, VDI-Z, Nr.1/2, 1979.
- [4] MERTINS, K.: Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme, Dissertation, TU, Berlin, 1984.
- [5] REKECKI, J., JANOŠI, J., GATALO, R., BRAUHLER, J., NADJABONJI, G., ZELJKOVIĆ, M., BOROJEV, Lj., HODOLIČ, J.: Sistem strugova, projekat, Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad, 1982.
- [6] MILAČIĆ, V., MAJSTOROVIĆ, V., ČOVIĆ, N., BABIĆ, B.: Računarom integrisani tehnološki sistemi - stanje i dalji razvoj, Zbornik radova: Savetovanje NUMA-ROBOTI i XV simpozijuma Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd, 1985.
- [7] GATALO, R., REKECKI, J., ZELJKOVIĆ, M., HODOLIČ, J., BOROJEV, Lj.: Konceptije NU fleksibilnih tehnoloških struktura za obradu rotacionih izradaka, simpozijum: CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, Cavtat, 1988.

D. Novaković, M. Zeljković, J. Rekecki, R. Gatalo

DEVELOPMENT FOUNDATIONS OF MODULAR DESIGN CONCEPT  
FOR NUMERICALLY CONTROLLED FLEXIBLE TECHNOLOGICAL  
STRUCTURES FOR ROTATIONAL PARTS MANUFACTURING

Summary

*The results which are presented in this paper are part of the research which is performed in order to option, the fundamental elements relevant to design and construction of flexible technological (FT) structures for rotational parts manufacturing. By analysis of numerous realized FT structures of different complexity level a significant number of elements, relevant to FTS design-construction activities are distinguished and systematized. Based on that analysis, classification of the FT structures has been derived using complexity level as a classification criteria. Definition of the modules for purpose of modular FT structures building is, also given. Modules are defined in the way to enable high flexibility level due to FT structures of different complexity level.*



---

## 22 ЈУГОСЛОВЕНСКО СОВЕТУВАЊЕ ЗА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

ОХРИД 24 - 26 мај 1989 г.

---

D. Noe, J. Kopač<sup>\*)</sup>

### FLEKSIBILNE STREŽNE NAPRAVE V AVTOMATIZACIJI MONTAŽE

#### 1. UVOD

V zadnjih nekaj letih zasledujemo na področju montaže radikalne spremembe, ki na eni strani predstavljajo povečevanje fleksibilnosti konvencionalnih montažnih avtomatov ter na drugi strani avtomatizacijo dosedanje ročne in mehanizirane montaže. Ker je skoraj 75% izdelave maloserijske vidimo možnost avtomatizacije predvsem v uvajanju fleksibilnih montažnih sistemov.

Razvoj in izdelava fleksibilnih montažnih sistemov sta neločljivo povezana z razvojem ustreznih komponent, razvojem krmilnih sistemov, izborom tehnologije montaže, oblikovanjem izdelkov ter planiranjem avtomatizirane montaže. Montaža sama vključuje 80% sekundarnih montažnih funkcij (strežnih funkcij) kot so natančnanje, dodajanje in vodenje. To so predvsem premočrtna gibanja, le v manjši meri zasučna gibanja, dolžine do 100 mm /DREX82/. Podatki veljajo za elektroindustrijo. Ta in podobne analize so pogojevale pristop k razvoju modularno grajenih fleksibilnih strežnih naprav, ki bodo osnova za razvoj fleksibilnih montažnih sistemov oziroma fleksibilnih montažnih celic.

Razvoj modularno grajenih strežnih naprav sega v sedemdeseta leta, prve strežne naprave so ob pnevmatičnem in hidravličnem pogonu zagotavljale enostavno gradnjo s kombiniranjem linearnih in rotacijskih modulov, enostavno spreminjanje in dograjevanje, možnost ponovne uporabe ter ceneno gradnjo ob uporabi standardiziranih modulov. Modularno grajene strežne naprave so primerne predvsem za strego pri velikoserijski in srednjoserijski proizvodnji pri vnaprej definiranih gibih ter hitrostih gibanja. Konvencionalne modularno grajene strežne naprave ne

<sup>\*)</sup> mag.Dragica Noe,dipl.ing., višji predavatelj, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, Murnikova 2  
dr.Janez Kopač,dipl.ing., docent, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, Murnikova 2

zagotavljajo potrebne fleksibilnosti, zato smo že v preteklem raziskovalnem obdobju pristopili k razvoju fleksibilnih strežnih naprav. Pri novi generaciji steržnih naprav je ohranjena modularna gradnja, spreminjata pa se pogon ter krmilje.

## 2. ZGRADBA KARTEZIČNIH ROBOTOV "KARO"

### 2.1. M o d u l i

Razvita sta dva koncepta gradnje modularno grajenih fleksibilnih strežnih naprav oziroma kartezičnih robotov. V prvem primeru so osnova samostojni moduli (slika 1), v drugem pa posamezni elementi oziroma sklopi (slika 2), ki omogočajo gradnjo predvidenih strežnih naprav.

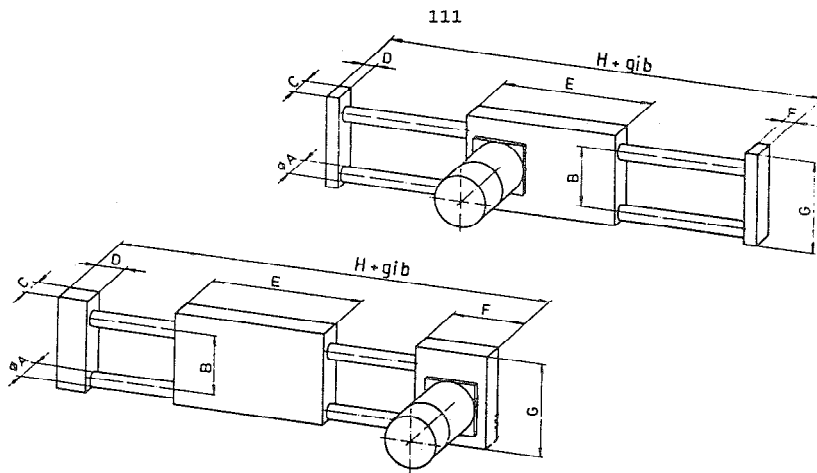
Robot KARO-1 ter nadaljne izvedbe bazirajo na dveh izvedbah modulov, v prvi koračni motor miruje, izvedba je označena kot portalni modul, v drugi pa je pritrjen na gibljivem delu, ki je gnan preko zobatega jermena (slika 1). Tako zasnovani moduli so poznani kot osnova za različne izvedbe strežnih naprav tako za izvajanje strežnih kot montažnih nalog. Izvedena fleksibilna strežna naprava v prototipni izvedbi vključuje oba osnovna modula ter je predvidena za paletiranje ter aplikacijo v montažni liniji.

Pogonski sklopi, vodila različnih dolžin, končni elementi (slika 2) pa so osnova za zasnovano robota KARO-2, ki je dopolnjen še z vertikalnim modulom ter izmenljivimi prijemali. S podanimi elementi in sklopi je mogoče zgraditi osnovo za gibanje v x in y osi. Za vertikalno os je razvit modul z vretenskim pogonom (slika 3). Taka zasnova sicer ne dopušča velikih možnosti izvedb, zagotavlja pa ustrezno togost naprave ter samo z variiranjem dolžine vodil, pokrivanje večjega ali manjšega montažnega prostora.

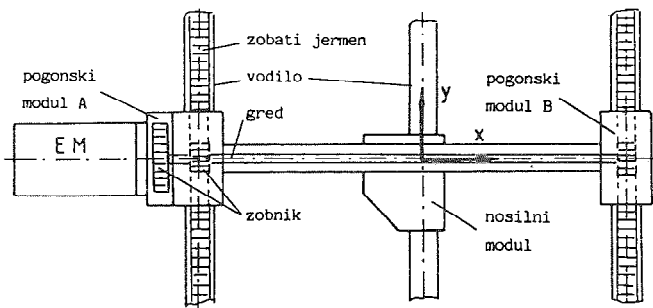
### 2.2. S i s t e m i z m e n l j i v i h p r i j e m a l

Osnovna naloga sistema za izmenjavo prijemal je:

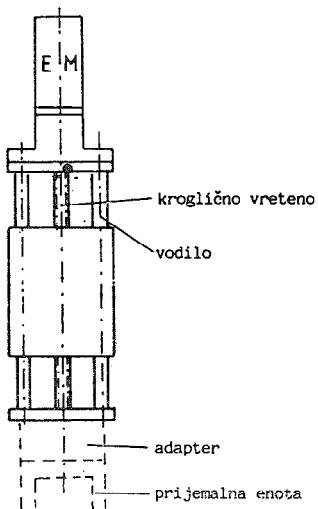
- pozicioniranje prijemal na priključnem delu robota,
- vpenjanje izmenljivega dela,
- dovod energije za prijemalne prste ter
- povezovanje krmilnih vodov.



Slika 1: Osnovni moduli za zasnovo fleksibilne strežne naprave KARO-1.



Slika 2: Osnovni moduli fleksibilne strežne naprave KARO-2.



Slika 3: Vertikalni modul.



V okviru možnosti je bil zasnovan sistem za zamenjavo prijemal, ki se sestoji iz adapterja in dveh prijemal (slika 4). V zgornjem delu adapterja je mehanizem za vpenjanje in izpenjanje spodnjega dela adapterja ter ustreznimi priključki. Spodnji del adapterja je pritrjen na prijemalo ima centrirno izvrtino ter omogoča povezavo prijemala z napajanjem. Prijemala so v izvedeni izvedbi nameščena na posebnih držalnih v delovnem področju robota, v nadaljnjih izvedbah pa je predvideno, pri večjem številu prijemal, da bodo prijemala na paletah.

### 3. POGONI

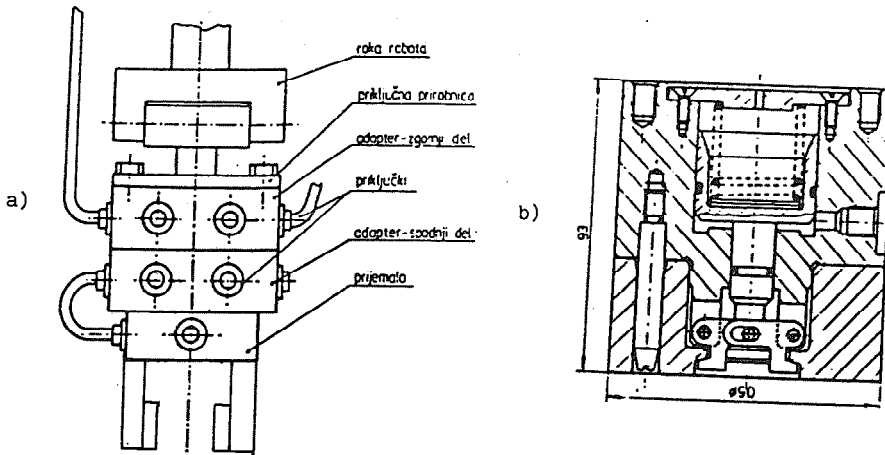
Glede na opravila v procesu montaže je mogoče zaključiti, da se pri fleksibilnih strežnih napravah zahtevajo kratki časi prehoda iz enega v drug položaj ter velika natančnost pozicioniranja, pri tem pa je natančnost gibanja med posameznimi točkami montaže manj pomembna. Med raznovrstnimi električnimi pogoni, ki se danes izdelujejo, so se pri montažnih robotih uveljavili predvsem pogoni s:

- koračnimi motorji,
- z enosmernimi kolektorskimi servomotorji ter
- z elektronsko komutiranimi servomotorji.

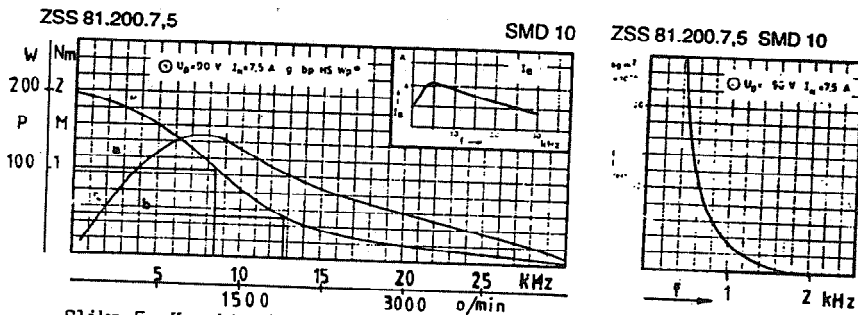
Natančnost pozicioniranja prijemala na robotu je na eni strani odvisna od števila podatkov o poziciji na obrat motorja ter na drugi strani od celotne kinematske verige, ki jo poleg motorja sestavljajo še predležje ter zobat jermen ali vreteno. Izvedba z zobatimi jermeni nudijo ceneno izvedbo pogona z manjšo natančnostjo pozicioniranja ter dobrim dušenjem. Izvedbe s krogličnimi vreteni se odlikujejo z veliko natančnostjo pozicioniranja vendar nekoliko slabšim dušenjem.

Robot KARO-1, ki je namenjen predvsem za montažo malih elektronskih komponent ter za prenašanje lažjih obdelovancev ima pogon s koračnim motorjem ter prenosom z zobatim jermenom. Izbiro so narekovale podane zahteve ter možnost uporabe lastnih motorjev. Osnova za dimenzioniranje je krivulja poteka momenta v odvisnosti od hitrosti vrtenja in krivulja hitrosti zagona v odvisnosti od zunanje vstrajnostne mase (slika 5). Za pospeševanje in zaviranje se običajno uporablja algoritem s konstantnim pospeškom, kar pomeni, da je mogoče izrabiti le del razpoložljivega momenta, ta delež se manjša čim večjo hitrost se želi doseči (slika 5 linija b).

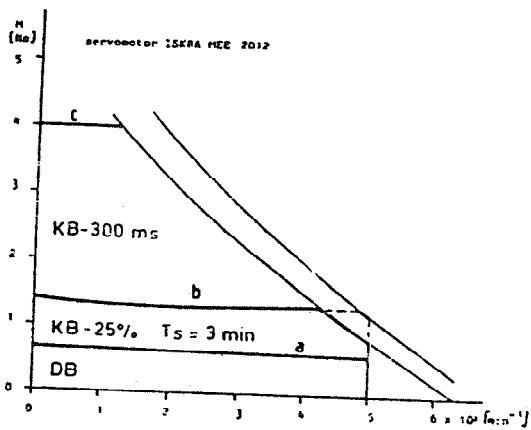
Za večje hitrosti gibanja in večje momente je primernejši pogon z elektronsko komutiranim servomotorjem, ki je uporabljen pri izdelavi fleksibilne strežne



Slika 4: Izmenjivo prijemalo (a) z adapterjem (b).



Slika 5: Karakteristike koračnega motorja.



Slika 6: Karakteristike servomotorja MEE 2012.

naprave KARO-2. Pogon deluje v zaprti zanki, tokovna obremenitev je odvisna od zunanjih obremenitev, izkoristek motorja je preko 80%, ima večje specifične moči, nima omejitev zaradi komutacije vendar je v primerjavi s koračnim motorjem 3 do 4 krat dražji. Motorji omogočajo maksimalne pospeške tudi pri najvišjih hitrostih. Na diagramu moment (M) število obratov (n) je prikazana odvisnost podanih veličin pri trajnih (a), intermitenčnih (b) in impulznih (c) obremenitvah.

Pri robotu KARO-2 je za gibanja v x in y osi uporabljen pogon z omenjenim motorjem ter jermenskim prenosom, za z os pa je prenos gibanja preko krogličnega vretena (slika 3).

#### 4. APLIKACIJA KARTEZICNIH ROBOTOV "KARO-1" IN "KARO-2"

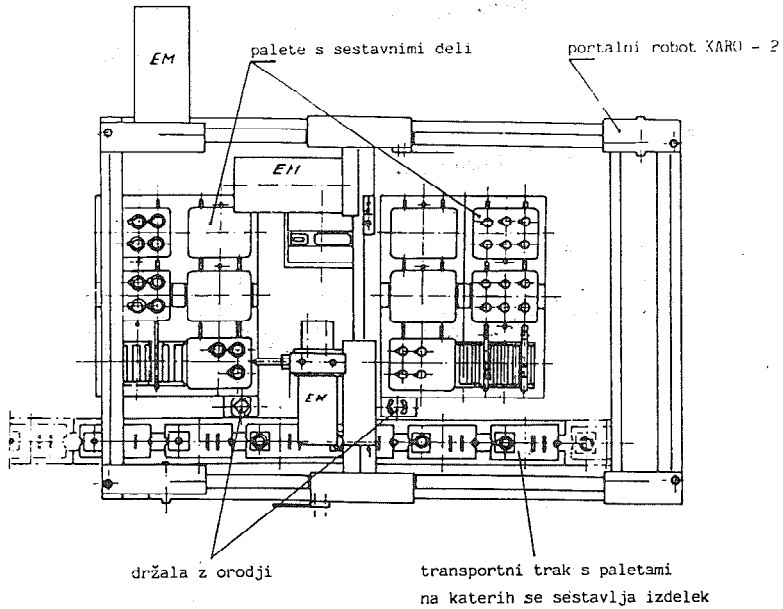
Fleksibilne strežne naprave družine "KARO" so osnova za koncipiranje avtomatizacije montažne celice kot samostojnega montažnega mesta (slika 7) ali v sklopu montažnega sistema (slika 9). Fleksibilna strežna naprava je kot osnovna komponenta montažne celice primerna za opravljanje vrste opravil, ki so pogosto pri montaži družine izdelkov, pri kateri je smer montaže v eni osi (slika 8). Z dodatnimi orodji omogoča robot, predvsem zaradi svoje togosti, privijanje, natis-kavanje z izmenjivimi prijemali pa še prijemanje različnih sestavnih delov. V prihodnosti predvidevamo, da bomo pri montaži elektromotorjev večino ročnih operacij nadomestili z ustreznimi izvedbami avtomatiziranih montažnih mest, ki bodo imele za osnovo eno izmed podanih izvedb fleksibilnih strežnih naprav.

#### 5. ZAKLJUČEK

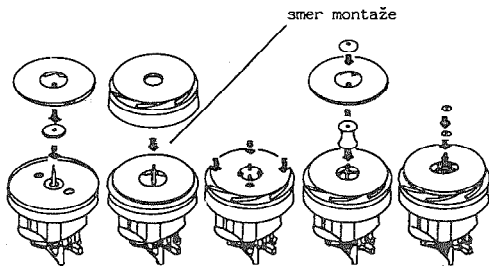
Prikazane rešitve so rezultat raziskovalnega dela ter sodelovanja Fakultete za strojništvo, ISKRE-DO Železniki ter ISKRE Raziskovalnega instituta industrije širokopotrošnih izdelkov. Prikazane fleksibilne strežne naprave predstavljajo uporabo razvitih pogonov-koračnih motorjev in servomotorjev ter na drugi strani osnovo za avtomatizacijo nekaterih montažnih operacij v procesu montaže DO ISKRA.

#### 6. LITERATURA

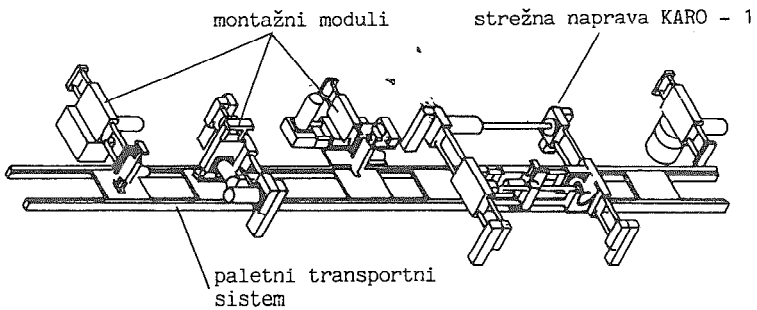
- /1/ /DREX82/ Drexel P.: Modulares, flexibles Montagesystem im "FMS" von Bosch, Proceedings of the 3rd International Conference on Assembly Automation, Boeblingen 1982.
- /2/ /SELJ87/ Seljak Z.: Industrijski roboti in podsklopi, Projekt: Robotizacija 87, štev. 102.87/197.



Slika 7: Zasnova montažne celice s strežno napravo KARO-2.



Slika 8: Montaža elektromotorja.



Slika 9: Aplikacija strežne naprave KARO-1 v montažni liniji.

/3/ /KOP88/ Kopač J.: Fleksibilne strežne naprave z izmenljivimi prijemali,  
Projekt: Robotizacija 88.

D. Noe, J. Kopač

**MODULARY STRUCTURED FLEXIBLE HANDLING DEVICES**

A b s t r a c t

The paper deals with the design of modular flexible handling devices with the characteristics of Cartesian robots with three or four degrees of freedom having one or multiple exchangeable grippers. In addition, the paper treats also the corresponding drives and possibilities of application in assembly.

R. Gatalo, J. Hodolič\*

AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA  
- DOSTIGNUĆA U RAZVOJU I KONCEPCIJA SOPSTVENIH ISTRAŽIVANJA ZA  
POTREBE STRUKTURA ZA OBRADU ROTACIONIH DELOVA\*\*

1. UVOD

Jedan od ključnih pravaca strategija razvoja savremene metaloprerađivačke industrije je uvođenje i primena fleksibilnih tehnoloških struktura (FTS) različitog stepena složenosti. Njihovim uvođenjem stvaraju se uslovi za podizanje ovakve proizvodnje na kvalitetniji, produktivniji i ekonomičniji nivo uz povećanje nivoa humanizacije rada. Visoka nabavna cena ovih sistema nameće potrebu stvaranja svih potrebnih preduslova za njihovu efikasnu eksploataciju u proizvodnji. U okviru tih potreba dominira potreba projektovanja tehnološkog procesa i programiranja ovakvih sistema. Pri tome ona se ogleda u blagovremenom postojanju kvalitetnih i pouzdanih upravljačkih programa za različite komponente fleksibilnog tehnološkog sistema (FTS), koji su rezultat prethodno projektovanog tehnološkog procesa. Takve zahteve moguće je ispuniti samo razvojem i primenom metoda automatizovanog programiranja fleksibilnih tehnoloških struktura.

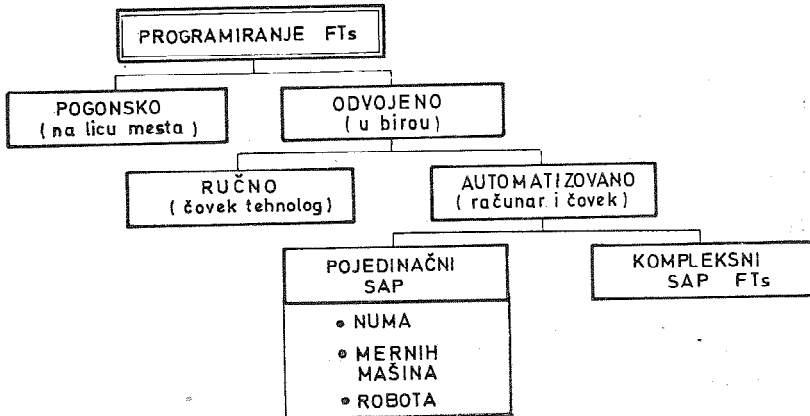
Ako se izuzmu prilagodjeni pojedinačni sistemi automatizovanog programiranja NUMA, može se konstatovati da je razvoj i primena kompleksnih sistema automatizovanog programiranja (SAP) FTS u povoju.

2. METODE I TEHNIKE PROGRAMIRANJA FTS

S obzirom da od kvaliteta i blagovremene raspoloživosti upravljačkih programa zavisi uspešno funkcionisanje FTs programiranju FTs se poklanja velika pažnja. U dosadašnjem periodu razvoja i primene FTs učinjeni su određeni napori i postignuti odgovarajući rezultati u razvoju tehnika, metoda i postupaka programiranja FTs (sl. 1).

\* Dr Ratko Gatalo, dipl.ing. redovni profesor,  
Dr Janko Hodolič, dipl.ing., asistent  
Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo Novi Sad.

\*\* Rad je proizašao iz istraživanja koja finansira SIZ NR Vojvodine.



Sl. 1. Načini i metode programiranja FTs

### 3. STANJE U RAZVOJU POJEDINAČNIH SAP FTs

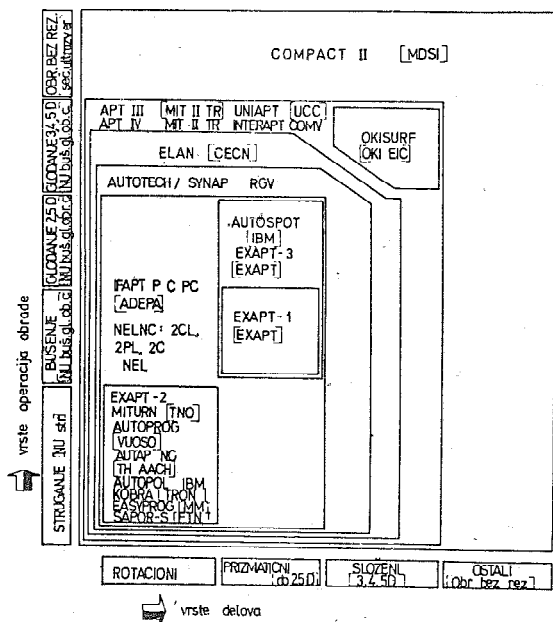
Od 1955. godine kada je na Masačusets Institutu za tehnologiju (MIT-SAD) realizovan prvi put jedan sistem za automatizovano programiranje NUMA, do danas, veliki broj instituta, proizvođača računara, upravljačkih jedinica pa i proizvođača mašina alatki, višekoodinatnih mernih mašina i industrijskih robota radilo je na razvoju sopstvenih rešenja SAP. Svi ti sistemi u području obrade metala rezanjem su uglavnom problemski orijentisani, što znači odnose se na problematiku programiranja NUMA, industrijskih robota, problematiku programiranja višekoodinatnih mernih mašina. Za ostale sisteme koji se mogu pojaviti kao komponente FTS kao što su sistemi za prihvatanje i odlaganje obradaka, alata (medjuskладишта, magacini alata, palete) kao i transporteri strugotine, sistemi za medjusobno povezivanje pojedinih komponenata (transporteri, induktivna kolica itd.) za sada nisu razvijeni odgovarajući problemski orijentisani sistemi za programiranje. Ovi uređjaji su razvijeni na bazi fiksnog (krutog) ponašanja i tek zadnjih godina i na ovom polju čine se pokušaji da i njihove funkcije budu programabilne.

#### 3.1. SAP NUMERIČKI UPRAVLJANIH MASINA ALATKI (NUMA) U FTs

Razvoj ovih sistema i njihova uspešna primena za pojedine vrste mašina bio je u skladu sa razvojem i primenom numeričkog upravljanja na mašinama alatkama za pojedine vrste obrade. Tako na primer razvoj i primena sistema za automatsko programiranje brusilica prisutan je samo zadnjih godina što je proizašlo zbog zakasnele realizacije prvih NU brusilica.

Usporedna analiza oblasti primene 20 najpoznatijih svetskih sistema za automatizovano programiranje prikazana je na sl. 2. uz napomenu da je kod uporedjenja dat i domaći programski sistem SAPOR-S. Najobuhvatniji sistemi su: COMPACT II, APT, UNIAPT, INTERAPT i dr.

Kod najvećeg broja razvijenih programskih sistema procesor je isključivo geometrijski orijentisan. Predstavnik ove grupe je APT sistem koji omogućava definisanje vrlo komplikovanih putanja alata.



Sl. 2. Usporedna analiza sistema za automatsko programiranje NUMA [8]

Sužavanjem geometrijskih mogućnosti i uključivanjem obrade (proračuna) i određenih tehnoloških informacija nastali su tzv. delimično tehnološki orijentisani sistemi kao što su npr. ADAPT, AUTOPOL, AUTOSPOT, AUTOPIT, EASYPROG itd. Ovoj grupi u suštini pripada i EXAPT programski sistem koji je poznat kao prvi tehnološki orijentisan sistem.

Treća grupa sistema (potpuno tehnološki orijentisani sistemi) baziraju na rezultatima istraživanja u oblasti tipske i grupne tehnologije. Takvi su npr. MITURN, AUTOPROG i SAPOR-S.

Manji deo od razmatranih sistema se više ili manje uspešno koristi za automatsko programiranje NUMA u FTs sa ili bez odgovarajućih proširenja ili prilagodjavanja. Proširenja i prilagodjenja su obuhvaćena razvojem postprocessorskih modula za konkretne uslove, obezbedjenjem mogućnosti višekorisničkog



rada i zahteva koji proizilaze od strane računara za distribuirano numeričko upravljanje (DiNU).

### 3.2. SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE MERNIH MAŠINA U FTS

U poredjenju sa SAP numerički upravljanih mašina alatki u pogledu broja razvijenih sistema i njihovog korišćenja u praksi može se konstatovati da su SAP mernih mašina u daleko manjem broju.

Ovu disproporciju malo ublažuju sistemi NCMES<sup>1)</sup> i SCAI<sup>2)</sup> koji su razvijeni za odvojeno programiranje mernih mašina. S obzirom na njihove osobine, moguće je njihovo korišćenje u DNU režimu. U grupu sistema za odvojeno automatsko programiranje mogu se svrstati i sistemi [7]: Johansson Soft. 301<sup>3)</sup>, MESCAL<sup>4)</sup> i MFTPROG<sup>5)</sup> ali sa lošim karakteristikama u pogledu moguće primene za potrebe FTS.

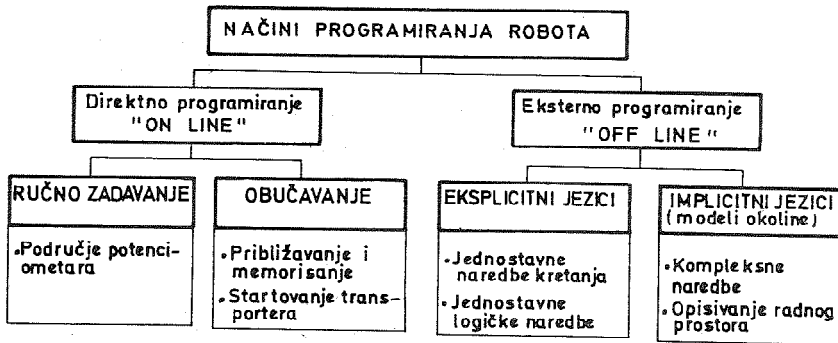
Sistemi NCMES i SCAI-CNC pružaju određeni nivo automatizacije u pogledu niza ponavljajućih aktivnosti koje iziskuju puno vremena a kod ručnog programiranja dovode i do grešaka. Tu na primer spadaju putanje alata za proizvodljne predmete sa proizvoljnim brojem mernih tačaka, programiranje u proizvoljno definisanom koordinatnom sistemu, programiranje sa skokovima ili petljama u programu za ponavljanje istih ili sličnih tokova itd.

Osnovni podsistemi razmatranih programskih sistema odgovaraju sistemima za automatsko programiranje NUMA. Razliku predstavlja deo modela koji se odnosi na ocenu izmerenih vrednosti i izdavanje protokola merenja.

### 3.3. SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE MANIPULACIONIH SISTEMA U FTS

Manipulacioni sistemi u FTS se pojavljuju sa različitom složenosti, kako po svojoj strukturi tako i po načinu programiranja. Radi se o dve krajnosti gde su na jednoj manipulatori sa fiksnim programima (mehaničke ruke) a na drugoj mobilni inteligentni roboti sa elementima veštačke inteligencije i promenljivim upravljačkim programima čak i u toku realizacije programskog zadatka na bazi dobijenih senzorskih informacija. Prema procenama [6] zadnjih godina u različitim područjima se koristi ili je objavljeno u toku zadnjih deset godina, preko 40 programskih sistema odnosno odgovarajućih programskih jezika za prog-

- 1) Razvijen u SRN od strane više fakulteta i proizvođača mernih mašina. Sada ga usavršava i distribuira EXAPT-Verein, Aachen
- 2) Razvijen u više verzija, Italija, Olivetti, OCN
- 3) JOHANSSON Soft. 301-razvila je firma C.E. Johansson.
- 4) MESCAL je razvila firma Leitz
- 5) METPROG je razvila firma Zeiss



Sl. 3. Načini programiranja industrijskih robota | 5 |

ramiranje industrijskih robota. Iz navedenog broja svega nekoliko ima mogućnosti i sposobnosti korišćenja za razmatrane svrhe.

Kod odvojenih sistema za automatsko programiranje (sl. 4) industrijskih robota mogu se razlikovati, po načinu definisanja polaznih informacija, dve grupe jezika:

- implicitni programski jezici (orijentisani na model okoline)
- eksplicitni programski jezici

Implicitni jezici omogućuju problemski-orijentisano definisanje manipulacionog zadatka korišćenjem informacija sadržanih u opisu modela. Oni pretpostavljaju da su okolina manipulacionog sistema, kao i objekti manipulacije i sami sistemi manipulacije, bili opisani za vreme formiranja - gradnje modela. Opis modela podrazumeva i definisanje medjusobnih prostornih odnosa: okoline, objekata manipulacije i samog sistema manipulacije.

Struktura SAP industrijskih robota na bazi implicitnih jezika kao što su ROBEX<sup>1)</sup>, AUTOPASS<sup>2)</sup>, RPL<sup>3)</sup>, AL<sup>4)</sup>, RAPT<sup>5)</sup> je ista kao i odgovarajućih SAP za NUMA.

- 1) ROBEX - je razvijen u RWTH-Aachen, SRN, 1978. god. za potrebe FTS. Struktura sistema i jezika odgovaraju sistemima za programiranje NUMA: APT-u i EXAPT-u. Pored naredbi za opis geometrije ROBEX je dopunjen naredbama za kretanje robota, naredbama za obradu senzorskih signala (za sada samo binarnih). Omogućuje sinhronizaciju rada robota sa okolinom (NUMA, konvejeri, kolica, medjusklađišta).
- 2) AUTOPASS - je razvijen u institutu Thomas I. Watson, američke firme IBM.
- 3) RPL - je razvijen na Tehničkom univerzitetu u Berlinu 1976. po uzoru na programiranje NUMA
- 4) AL je razvijen na Stanford Univerzitetu, Laboratorija za vešt. inteligenciju 1974.
- 5) RAPT - je razvijen na Univerzitetu u Edinburgu. Predstavlja modifikovanu verziju APT jezika za programiranje industrijskih robota za montažu.

Iako se radi o programskim sistemima sa znatnim prednostima i pogodnostima za FTS, njihova primena nije do sada dala očekivane rezultate. Pre svega se misli na mogućnost programiranja senzorski i vizuelno vodjenih industrijskih robota koji sve više nalaze primenu u integrisanim sistemima kao što su FTS.

Drugi problem je modeliranje složenog okruženja industrijskih robota koja se pojavljuju u FTS.

Eksplisitni programski jezici odnosno njihovi sistemi zahtevaju programiranje svakog manipulacionog koraka - pokreta, što predstavlja nedostatak ovih sistema. Drugi nedostatak ovih sistema je što zahtevaju da programer mora da zamišlja sve objekte manipulacije u prostoru. To je često teško pogotovu kod obilaženja prepreka. Za razliku od implicitnih jezika na čijem se razvoju još intenzivno radi i koji imaju još vrlo ograničenu primenu, eksplicitni programski jezici se danas široko koriste pre svega u procesima montaže.

#### 3.4.1 KOMPLEKSNI SISTEMI ZA PROGRAMIRANJE FTS

Kompleksni SAP FTS su rešenja novijeg datuma koja omogućuju automatsko projektovanje upravljačkih programa za različite vrste operacija koje se izvode u FTS. Kao što je rečeno razvoj ovakvih sistema sa malim izuzecima je u povoju. U navedene izuzetke mogu se uvrstiti sistemi MCL<sup>1)</sup> i GNC<sup>2)</sup> kao i neki sistemi u Japanu koji su još autorski zaštićeni i nisu još prikazani javnosti.

U nastavku se prikazuje koncepcija jednog domaćeg rešenja kompleksnog SAP FTS koji je u razvojnoj fazi.

#### 4. SAPOR-FTS<sup>3)</sup> SISTEM ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE

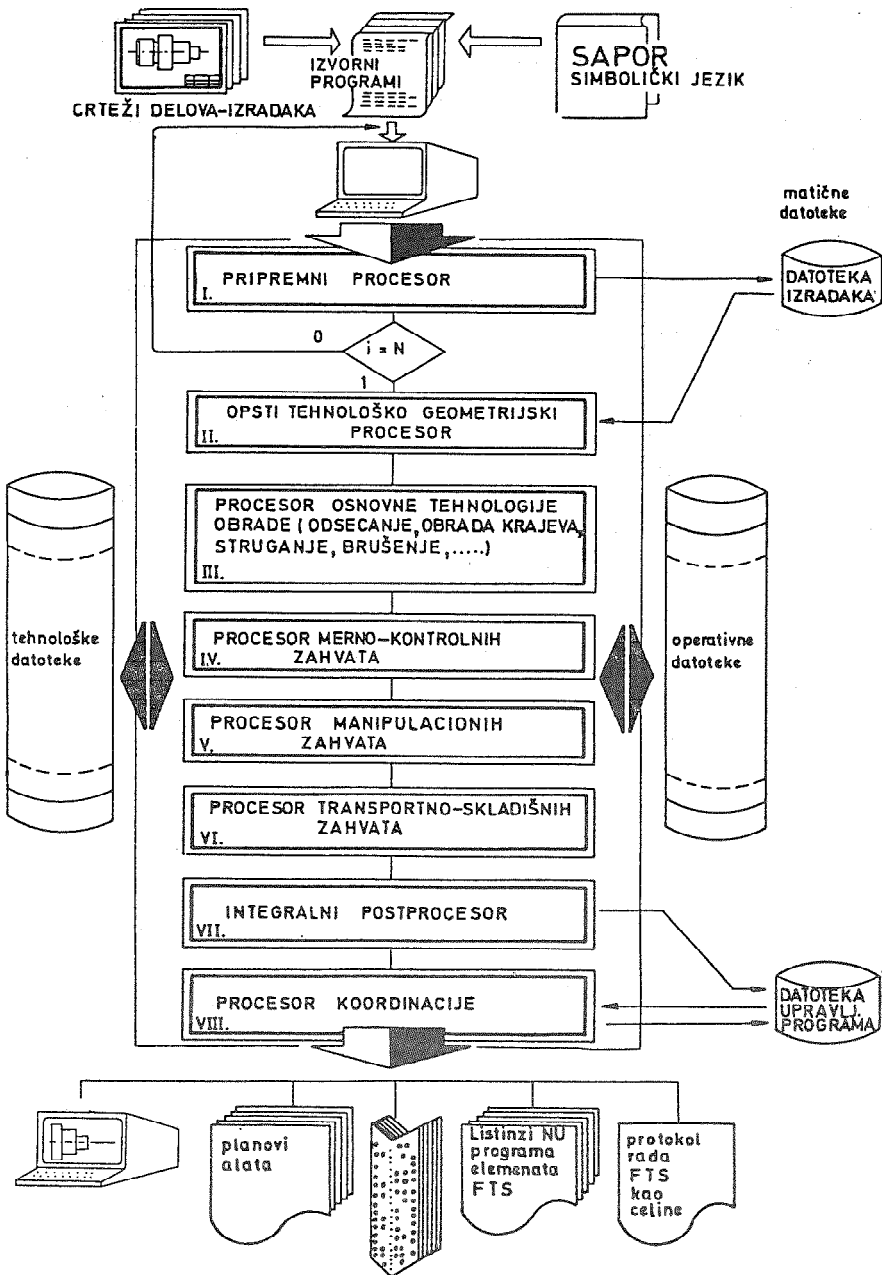
Model ovog SAP (sl. 4) bazira na OFF-LINE povezivanju faze projektovanja tehnološkog procesa i upravljačkih informacija sa fazom upravljanja proizvodnjom. Ovakav način povezivanja ima smisla prihvatiti sa jedne strane kao lakše i za razvoj brže rešenje. Sa druge strane i zato što je u ovom trenutku teško prihvatiti tezu da se i celokupna priprema FTS i njegovih komponenata i mnoge druge radnje vezane za alat, pribor, pripremak itd. mogu za sada pouzdano u potpunosti automatizovati u realnom vremenu.

Osnovna struktura SAP FTS može se posmatrati kroz četiri celine: podsystem formalizacije i/ili modeliranja ulaznih informacija o delovima (izradcima) za koje treba projektovati proces izrade na FTS; podsystem tehnoloških in-

1) Nastao 1978. god. u MC Donnel Douglas Corporation

2) GNC sistem je razvila firma Prime Computer.

3) SAPOR-FTS-se razvija u okviru naučnoistraživačkog projekta na Institutu za proizvodno mašinstvo FTN u Novom Sadu.



Sl. 4. Model SAP FTS |1| |2|

formacija - tehnološka informaciona baza; procesorski sistem i postprocesorski sistem.

#### 4.1. PODSISTEM ZA FORMALIZOVANJE ULAZNIH INFORMACIJA

Ovaj podsistem bazira na integralnoj koncepciji SAPOR simboličkog jezika |3|.

#### 4.2. TEHNOLOŠKA INFORMACIONA BAZA

Kao i kod svakog tehnološki orijentisanog visoko automatizovanog programskog sistema, tako i kod kompleksnog sistema za potrebe NU FTS, tehnološka informaciona baza predstavlja nezaobilanu osnovu za funkcionisanje SAP. Ovu bazu čine tehnološke datoteke koje se mogu svrstati u sledeće grupe |4|:

1. Datoteke tehnoloških redosleda: obrade, merenja, manipulacije transporta i skladištenja
2. Osnovne tehnološke datoteke: ukupnog FTS, obradnih sistema, merno-kontrolnih sistema, manipulacionih sistema, transportnih i transportno-skladišnih sistema

#### 4.3. PROCESORSKI SISTEM

Prema modelu na slici 4. procesor sistema koncipiran je kroz tri celine:

.1. *Pripremni deo procesora* je definisan kao pripremni procesor u modelu na slici 4. U suštini njegova uloga je provera ulaznih informacija, prevodjenje i sortiranje tih informacija zatim definisanje klasifikacionog broja dela - izradka. Ovaj deo procesora može se posmatrati kao potpuno nezavisan - čak pri korišćenju programskog sistema može da se izvodi i na drugom računarskom sistemu.

.2. *Osnovni procesor* obuhvata grupe modula odnosno podsistema za automatsko projektovanje. Oni čine pojedinačne procesore i to:

- *opšti tehnološko geometrijski procesor*, čija je glavna uloga definisanje optimalnog tehnološkog redosleda po operacijama obrade, zahvatima merenja manipulacije, transporta i skladištenja, kao i definisanje geometrijskog modela - izradka.
- *procesori osnovne tehnologije obrade*, u okviru kojih se detaljno projektuje tehnološki proces obrade i definišu upravljačke informacije unutar pojedinih operacija obrade: odsecanjem, obrade krajeva, struganja<sup>1)</sup> i brušenja.
- *procesor merno kontrolnih zahvata* u okviru kojeg se detaljno definiše pos-

1) Ovdje se podrazumevaju i druge operacije obrade (brušenje, glodanje, rezanje navoja, odsecanje itd.) koje se mogu realizovati na savremenim NUMA gde je osnovna operacija struganje.

tupak merenja i definišu upravljačke informacije unutar svakog zahvata (operacije) merenja.

- *procesor manipulacionih zahvata*, u okviru kojeg se detaljno definiše postupak manipulacije i definišu upravljačke informacije unutar svakog zahvata (operacije) manipulacije sa: materijalom (pripremkom, obradkom, izradkom), alatima, mernim glavama, priborima za stezanje itd.
- *procesor transportno-skladišnih zahvata*, u okviru kojeg se detaljno definiše postupak transporta ili transporta i skladištenja priprema i izradka i definišu upravljačke informacije unutar svakog zahvata (operacije) transporta i skladištenja.

.3. *Operativne datoteke ili operativna informaciona baza* ima ulogu povezivanja pojedinih procesorskih celina, segmenata i modula u jedinstvenu celinu, kao i povezivanje procesora sa postprocesorskim sistemom.

#### 4.4. POSTPROCESORSKI SISTEM

Završni rezultati projektovanja u okviru procesora, odnosno procesorske izlazne informacije još uvek su opšteg karaktera - tj. nisu prilagodjene upravljačkim sistemima mašine alatke, manipulacionih sistema, merno-kontrolnih sistema i transportno-skladišnih sistema. Njihovo prilagođavanje i konačno oblikovanje izvodi se u okviru postprocesora kompleksnog sistema [9].

Procesor koordinacije služi za komunikaciju SAP FTS sa sistemom za upravljanje proizvodnjom kao i računarima za DNU, upravljanje transportom itd. Pored toga njemu se mogu dati i drugi zadaci koji proizilaze iz područja upravljanja proizvodnjom npr. kod manjih FTS. Zbog toga ovaj procesor ne treba smatrati obaveznim sastavnim delom SAP FTS.

#### 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu podataka o izvedenim FTs može se konstatovati da je prisutan njihov nagli razvoj i primena. Za razvoj SAP FTS koji predstavljaju njihovu podršku ne može se to reći, posebno ako se isključe prilagodjena rešenja SAP NUMA. Tome sigurno doprinosi zakasneli razvoj i postignuti rezultati u području SAP mernih mašina i industrijskih robota. Može se konstatovati da razvoj ovih SAP ide kroz iste razvojne faze kao što je bilo sa SAP NUMA i da će u dogledno vreme i kod njih biti postignut potreban nivo automatizacije i primene. Stečena saznanja i iskustva u razvoju i primeni ovih sistema doprineće bržem razvoju i široj primeni kompleksnih SAP FTS.

## REFERENCE

- [1] HODOLIČ, J., GATALO, R., ZELJKOVIĆ, M., MILOŠEVIĆ, V., KONJOVIĆ, Z., REKECKI, J., BOROJEV, Lj., i drugi: Automatizovano projektovanje tehnološkog procesa za NU fleksibilne tehnološke sisteme za obradu rotacionih izradaka - prva faza. Elaborat naučno istraživačke teme, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1986.
- [2] HODOLIČ, J.: Integralni prilaz postprocesiranju upravljačkih informacija u sistemu za automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1988.
- [3] GATALO, R., REKECKI, J., ZELJKOVIĆ, M., HODOLIČ, J., i drugi: Formalizacija geometrijskih, proračunskih i tehnoloških informacija kao osnova za pojedinačne i integralne programske sisteme za automatizovano projektovanje (I deo), Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad (1984) 1.
- [4] GATALO, R., HODOLIČ, J., ZELJKOVIĆ, M.: Informaciona baza tehnološki orijentisanih programskih sistema za automatizovano programiranje NU mašina alatki, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo, FTN, (1987) 4.
- [5] WECK, M.: Programmiersprache für NC Handhabungsgeräte, Industrie anzeiger, (1980) 37.
- [6] WECK, M., NIEHAUS, T.: Off-Line Robot Programming via Standardised Interfaces, The Industrial Robot, (1984) 3.
- [7] SCHOLING, H.: Optimierung der off-line-Programmierung von CNC-Mehroordinaten-Messgeräten, Dissertation, RW TH, Aachen, 1982.
- [8] BUČAN, M.: Istraživanje i razvoj sistema za projektovanje tehnološkog procesa zasnovanog na bazi podataka iz industrije prerade metala, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- [9] HODOLIČ J.: Integralni prilaz postprocesiranju upravljačkih informacija u sistemu za automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka, XXI savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Ohrid, 1989.

R. Gatalo, J. Hodolič

AUTOMATIC PROGRAMMING OF THE FLEXIBLE TECHNOLOGICAL STRUCTURES -  
 - GENERAL DEVELOPMENT RESULTS AND ORIGINAL RESEARCH CONCEPT  
 APPLIED TO THE ROTATIONAL PARTS MANUFACTURING STRUCTURES

Summary

In this paper the problem of flexible technological structures and components programming is considered. Particular systems for automatic programming of NC machine tools, measurement equipment and industrial manipulation robots, considered as FT structures components, are analyzed. Based on the analysis results, development of the complex programming system for FT structures, as final goal is set up. According to that, an original model of the system for FTS automatic programming, which is currently under development by Institute for Production Engineering, Faculty of Technical Sciences Novi Sad, is presented.

J. Hodolič\*)

INTEGRALNI PRILAZ POSTPROCESIRANJU UPRAVLJAČKIH INFORMACIJA U  
SISTEMU ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE FLEKSIBILNIH  
TEHNOLOŠKIH SISTEMA ZA OBRADU ROTACIONIH IZRADAKA\*\*)

1. UVOD

Postprocesori su programi sa kojima se vrše programska prilagodjavanja uređaja ili programskih sistema na druge uređaje ili programske sisteme [6]. U osnovi postprocesor predstavlja sprežni sistem (interfejs) između različitih uređaja ili programskih sistema.

U sistemima za automatizovano programiranje (SAP) osnovni zadatak postprocesora je da upravljački program projektovan u procesoru sistema u jednom neutralnom jeziku prevede u programski jezik konkretne numeričke upravljačke (NU) jedinice. Pored toga u opštem slučaju njegov zadatak se svodi na obezbeđenje nosioca upravljačkih informacija kao i obezbeđenje oblika i sadržaja dokumentacije za poslužioca NU jedinice. U ovom slučaju se može govoriti o postprocesoru u užem smislu (sl. 1). Šire posmatrano postprocesor može u ukupnom SAP obavljati i druge zadatke kao što su sekundarna optimizacija tehnološkog procesa, proveravanje projektovanih upravljačkih programa itd. U ovom slučaju se može govoriti o postprocesoru u širem smislu (sl. 2).

2. STANJE U RAZVOJU POSTPROCESORA

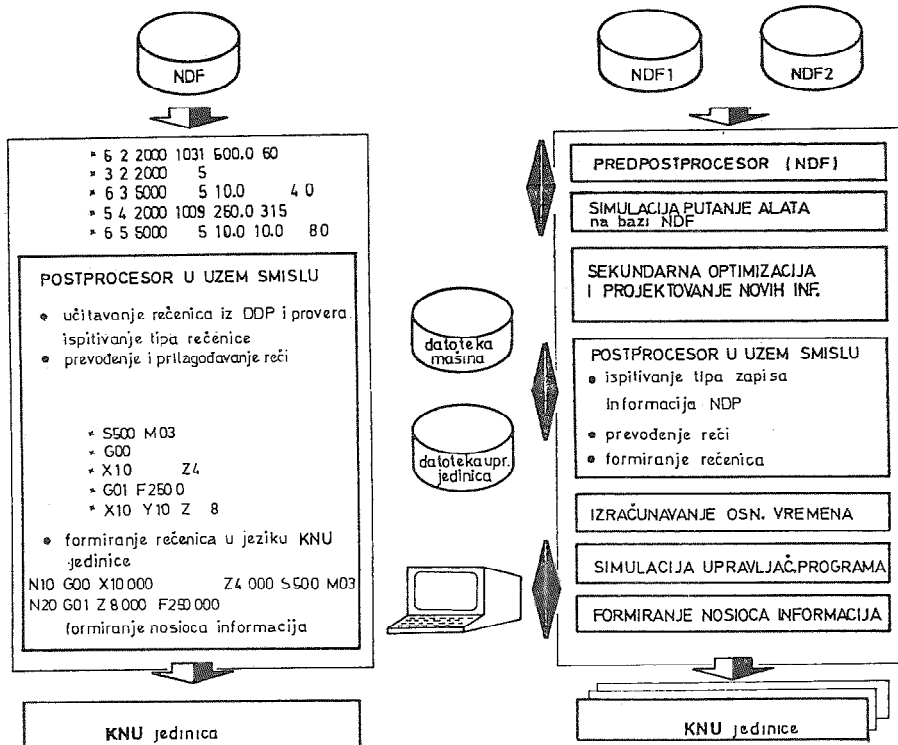
Pojam postprocesora u SAP datira od njihove pojave. U najčešćem broju slučajeva, pre svega kod SAP koji datiraju od ranijih godina, postprocesorski deo SAP se sastoji od niza pojedinačnih postprocesora razvijenih za jedno konkretno rešenje: NU jedinica - mašina alatka ili druga komponenta. Uvodjenjem standardizacije u području programskih jezika NU jedinica došlo je do smanje-

---

\*) Dr Janko Hodolič, dipl.ing., asistent, Institut za proizvodno mašinstvo, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

\*\*\*) Rad je proizašao iz istraživanja koja finansira SIZ NR Vojvodine.





SL. 1. Postprocesor u užem smislu

SL. 2. Postprocesor u širem smislu

nja raznolikosti programskih jezika pre svega u pogledu semiotike<sup>1)</sup> i semantike<sup>2)</sup>. Bilo je za očekivati da će zbog toga doći do nestajanja potrebe za postprocesorima. To se nije obistinilo a razlozi za to su višestruki:

- Nepostojanje standardizacije u pogledu sintakse<sup>3)</sup> programskih jezika NU jedinica
- Sve veći fond reči u programskim jezicima NU jedinica zbog permanentnog usavršavanja i proširivanja mogućnosti NU mašina alatki, robota, mernih mašina itd.

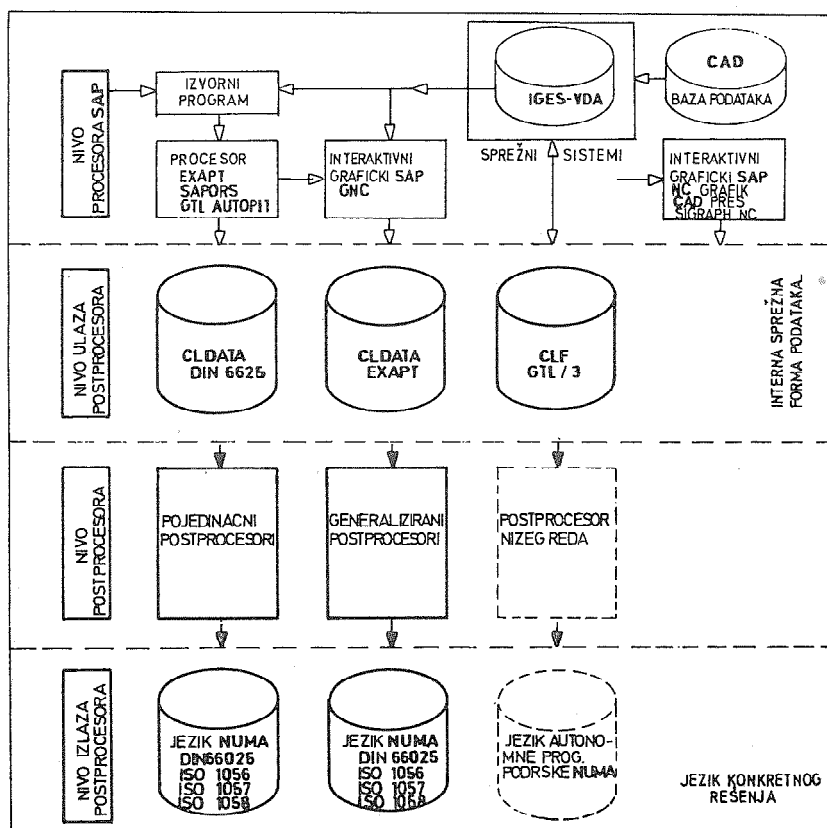
1) Semiotika je grana gramatike koja se bavi proučavanjem teorije znakova i simbola u programskom jeziku

2) Semantika kao deo gramatike je nauka o značaju reči

3) Sintaksa je deo gramatike koji se bavi rečenicom kao celinom, njenim sastavnim delovima, kao i načinom uređenja tih delova

- Sve veći zahtevi od SAP u pogledu stepena automatizacije i kvaliteta upravljačkih programa a koji su rezultirali razvojem postprocesora u širem smislu (sl. 2)
- Svesno odstupanje pojedinih proizvođača (NU) jedinica od pomenutih standarda radi postizanja određene automosti svojih rešenja.

Gledajući sa aspekta prethodnog, problem postprocesora i u budućnosti biće aktuelan i bitan. Zbog toga, kao i zbog velikih potreba u pogledu broja postprocesora, metodama i načinima razvoja postprocesora se u naučno-stručnim krugovima posvećuje velika pažnja. Danas je razvoj postprocesora (sl. 3) rezultirao nizom prilaza, neutralnih jezika, specijalnih sistema za automatsko generisanje postprocesora (generatori postprocesora) i kompleksnim rešenjima postprocesora za nekoliko NUMA<sup>1)</sup> (generalizovani postprocesori). Sve to je



Sl. 3. Rešenja postprocesora u SAP NUMA

1) NUMA - Numerički Upravljana Mašina Alataka

prisutno pre svega u SAP sa malim mogućnostima u pogledu projektovanja tehnološkog procesa. Sa druge strane kod novih i tehnološki orijentisanih SAP istražuju se nove metode i prilazi u razvoju postprocesora.

Na drugoj strani postoji određeno kašnjenje u razvoju SAP industrijskih robota i SAP mernih mašina kao i odgovarajućih programskih jezika, zbog čega je došlo do određene podvojenosti u prilazima i rešenjima postprocesora u odnosu na SAP.

U jednom kompleksnom SAP FTS<sup>1)</sup> takva podvojenost mogla bi da bude krupna prepreka za njegovu uspešnu primenu.

Na bazi prethodnih činjenica proizašao je cilj da se postavi jedan postprocesorski sistem u širem smislu na bazi integralnog prilaza i sa jednostavnim regenerativnim mogućnostima kao sastavni deo jednog tehnološki orijentisanog SAP FTS.

### 3. MODEL INTEGRALNOG POSTPROCESORSKOG SISTEMA

Polazeći od prethodnih razmatranja i polaznih ograničenja u smislu izradka odnosno NU komponenata FTS za koje se žele projektovati upravljački programi u njihovim programskim jezicima, postavljen je model sistema, prikazan na slici 4.

Model je sastavljen od četiri osnovna strukturalna dela i to:

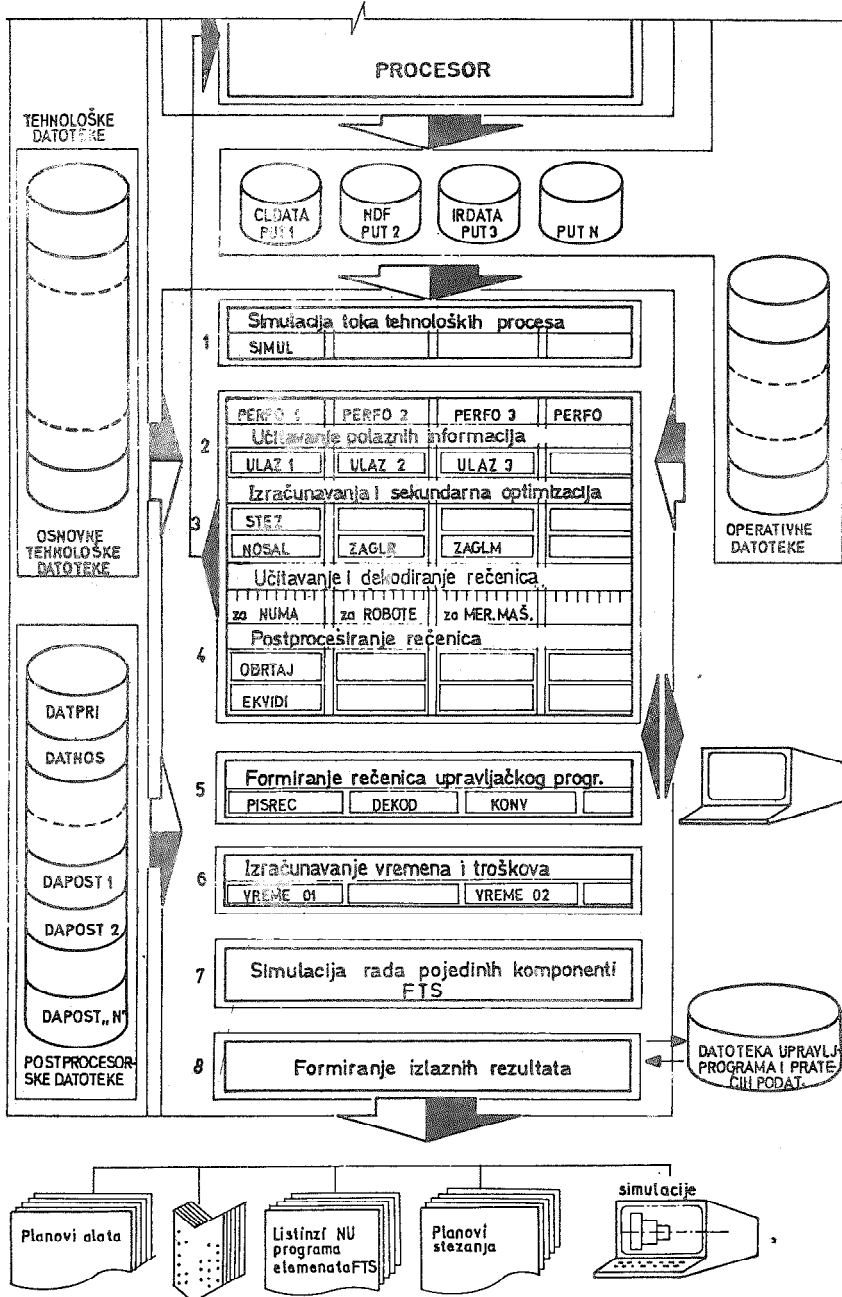
- 1. Podsystema ulaznih informacija (gornji i desni deo),
- 2. Podsystema informacionih podloga (levi deo),
- 3. Glavnog računarskog programa sa odgovarajućim programskim segmentima (centralni deo) i
- 4. Izlazne informacije (donji deo)

U nastavku se ukratko prikazuju osnovne funkcije pojedinih delova strukture.

... 1. *Podsystem ulaznih informacija* prema modelu na sl. 4 predstavlja ulazni deo celog sistema. Prvi (osnovni) deo ulaznih informacija su ustvari izlazni rezultati iz procesora: osnovne tehnologije obrade (odsecanja, obrade krajeva, struganje, brušenje i sl.) definisanih na bazi CLDATA internog jezika [4], procesora merno kontrolnih zahvata (datih u vidu NDF<sup>2)</sup> internog jezika [6]), procesora manipulacionih zahvata (datih u IRDATA internom jeziku [7]) odnosno procesora transportno skladišnih zahvata. Ove informacije se u fazi njihovog projektovanja upisuju u pojedinačne datoteke koje predstavljaju deo operativnih datoteka celog SAP FTS. One su označene sa PUT1, PUT2, PUT3...PUTn. Drugi, manji deo, ulaznih informacija koristi se iz dru-

1) FTS - Fleksibilni Tehnološki Sistem

2) NDF - Neutral Data File



Sl. 4. Model integralnog postprocesorskog sistema

gih operativnih datoteka. Pored navedenih, kao ulazne informacije prema modelu na slici 4. mogu se smatrati i odgovori projektanta u dijalogu računar-projekant, kada do takvog režima dodje.

. . . .2. *Podsistem informacionih podloga* oblikovan je u vidu datoteka tzv. tehnoloških informacija. U ovom slučaju glavninu čine informacije kojima su definisane karakteristike pojedinih upravljačkih sistema kao i karakteristike njihovih programskih jezika. Podsistem sadrži deo tehnoloških datoteka SAP FTS, nazvanih kako sledi:

- DAPOST1 - datoteka karakteristika upravljačkih jedinica i njihovih programskih jezika za obradne komponente FTS,
- DAPOST2 - datoteka karakteristika upravljačkih jedinica i njihovih programskih jezika za merno kontrolne komponente FTS,
- DAPOST3 - datoteka karakteristika upravljačkih jedinica i njihovih programskih jezika za manipulacione komponente FTS i
- DAPOST4 - datoteka karakteristika upravljačkih jedinica i odgovarajućeg programskog jezika transportno skladišnih komponenta FTS.

Pored navedenih datoteka sa informacionim podlogama delimično se koriste i druge tehnološke datoteke SAP FTS u kojima su definisane karakteristike samih komponenta FTS odnosno njihovih funkcionalnih sklopova (npr. datoteka mašina, pribora za stezanje, nosača alata itd.).

. . . .3. *Glavni računarski program integralnog postprocesorskog sistema*, strukturiran je po određenim nivoima odnosno kolonama. Nivoi predstavljaju faze projektovanja u integralnom postprocesorskom sistemu dok kolone predstavljaju grane postprocesorskog sistema namenjene za prilagodjavanje i projektovanje upravljačkih informacija za pojedine vrste komponenta FTS.

Prvi nivo obuhvata module za simulaciju tehnoloških procesa. Simulacija se obavlja samo na bazi informacija sadržanih u operativnim datotekama: PUT1, PUT2, itd. Pri tome se ne uzimaju u obzir stvarni uslovi (dimenzije alata, radnog prostora itd.) jer informacije još nisu prilagodjene konkretnom rešenju. Ova simulacija služi za vizuelnu kontrolu informacija projektovanih u procesoru SAP FTS.

Drugi nivo predstavlja predpostprocesor. Ima zadatak, izmedju ostalog, učitavanje ulaznih informacija iz pojedinih datoteka SAP. U njemu mogu da se lociraju i odgovarajući programi za prevodjenje u formu koju predvidja neki od internih jezika za definišanje ulaznih informacija. Na taj način je moguće povezivanje postprocesorskog sistema i sa procesorima SAP koji ne obezbeđuju svoj izlaz u prethodno navedenim neutralnim jezicima.

Treći nivo čini deo postprocesora koji se odnosi na sekundarnu optimizaciju (primarnu obavljaju odgovarajući delovi procesora) kao i projektovanje dodatnih informacija. Ovaj deo postprocesora čini niz modula - segmenata, većinom problemski orijentisanih za pojedine vrste komponenata FTS. Zavisno od rezultata projektovanja u ovoj fazi, korišćenjem posebne povratne veze od postprocesora do procesora, moguća je aktuelizacija novih rešenja u procesu SAP-FTS.

Četvrti nivo predstavlja postprocesor u užem smislu, u njemu se upravljачke informacije na bazi karakteristika programskog jezika sadržane u datotekama DAPOST prilagodjavaju konkretnoj komponenti FTS.

Na petom nivou na bazi prilagodjenih informacija formiraju se rečenice upravljачkog programa.

Šesti nivo obuhvata module za izračunavanje vremena trajanja pojedinih operacija obrade, manipulacije, odnosno merenja i kontrole. Ove informacije se koriste kao osnovni podaci za upravljanje proizvodnjom u FTS.

Na sedmom nivou pre formiranja nosioca izlaznih informacija vrši se proveravanje prilagodjenih upravljачkih informacija na bazi simulacije rada pojedinih komponenti i praćenja od strane projektanta.

Pošto se radi o OFF-LINE sistemu, poslednji (osmi nivo) predstavljaju programi za prenošenje projektovanih upravljачkih programa u odgovarajuću matičnu datoteku i formiranje odredjenih kompleta programa. Osim toga, na ovom nivou formiraju se i odgovarajući nosioci informacija neophodni za pripremu alata, hvataljki, mernih pipaka, pribora za stezanje itd. U slučaju potrebe, u odsustvu DNU na ovom nivou, moguće je korišćenje posebnih programa za formiranje perforiranih ili magnetnih traka kao nosioca upravljачkih informacija.

. . . .4. *Izlazne informacije iz postprocesorskog sistema* dobijaju se u vidu:

- rezultata simulacije pojedinih tehnoloških procesa i procesa rada pojedinih komponenti FTS
- upravljачkih programa za pojedine komponente FTS,
- plana stezanja obradka,
- plana alata, mernih pipaka i hvataljki,
- odredjenih napomena i informacija za poslužioce sistema i za sistem upravljanja proizvodnjom FTS i
- nosioca upravljачkih programa (po potrebi).

U slučaju "ON-LINE" režima rada SAP-FTS sa potpuno automatizovanim FTS prethodno navedena struktura izlaznih informacija iz postprocesorskog sistema bila bi drugačija. Tako npr. za opremanje mašine više neće biti potreban plan stezanja ili plan alata već odgovarajući upravljачki programi za manipulacioni odnosno transportni sistem.

## 4. REZULTATI - PROVERE

Za postavljene model integralnog postprocesorskog sistema SAP FTS, za obradu rotacionih izradaka obavljena su jednim delom detaljna a drugim delom delimična testiranja. Detaljna testiranja obavljena su za deo postprocesorskog sistema koji se odnosi na NU strugove. Ovaj deo je ujedno bio osnova razvoja drugih delova postprocesorskog sistema. Naime, za delove koji se odnose na prilagodjavanje upravljačkih informacija za industrijske robote i višekoordinatne merne mašine obavljena su samo parcijalna - delimična testiranja. Ukupni rezultati testiranja u suštini čine rezultate verifikacije modela integralnog postprocesorskog sistema.

Za postavljanje koncepcije dela integralnog postprocesorskog sistema koji se odnosi na industrijske robote i za kasnija parcijalna testiranja tog dela sistema, korištena su konkretna rešenja portainih industrijskih robota - manipulatora. Osnovu za programske jezike navedenih rešenja predstavlja DIN66025.

Od konkretnih rezultata primene razvijenog postprocesorskog sistema ovde ćemo se zadržati samo na primeru rezultata za potrebe jednog industrijskog robota - manipulatora u sastavu fleksibilne tehnološke strukture na nivou fleksibilnog tehnološkog modula.

Kao primer segmenta ulaznih informacija napisanih u IRDATA jeziku sadržanih u odgovarajućoj datoteci PUT2 (sl. 4) prikazuje sl. 5. Ovaj primer

```

700, 22230, 1000;
701, 5000, 193, 4, 1, 500., 1, 0., 1, 0.;
702, 28000, 71, 1, 6.;
703, 2003, 67, 1, 6.;
704, 5000, 209, 4, 1, 500., 1, 0., 16, R043;
705, 28000, 85, 59;
706, 28000, 55, 0;
707, 28000, 58, 77;
708, 28000, 51, 21;
709, 5000, 193, 4, 16, R042, 1, 0., 16, R043;
710, 28000, 81, 0;
711, 28000, 52, 99;
712, 5000, 65, 4, 1, 500., 1, 0., 16, R043;
713, 5000, 65, 4, 1, 500., 1, 0., 16, R045;
714, 5000, 65, 4, 16, R070, 1, 0., 16, R045;
715, 5000, 73, 4, 16, R070, 1, 0., 16, R022;
716, 28000, 62, 88;
717, 28000, 96, 61;
718, 28000, 92, 0;
719, 22810, 16, R032;
720, 28000, 87, 0;
721, 2003, 67, 1, 30.;
722, 5000, 89, 4, 16, R070, 1, 0., 16, R045;
723, 5000, 65, 4, 1, 500., 1, 0., 16, R045;
724, 5000, 193, 4, 1, 500., 1, 0., 16, R043;
725, 28000, 72, 0;
726, 5000, 65, 4, 1, 100., 1, 0., 16, R043;
727, 5000, 73, 4, 16, R042, 1, 0., 16, R043;
728, 28000, 51, 0;
729, 5000, 65, 4, 1, 500., 1, 0., 16, R043;
730, 5000, 65, 4, 1, 500., 1, 0., 16, R028;
731, 22240;

```

Sl. 5. Primer ulaznih informacija u IRDATA jeziku za računar

INDUSTRIJSKI MANIPULATOR		PL-16	123098
PODPROGRAM : MANIPULACIJE : DVOSTRUKE HVATALJKE		H-132	678
=====			
N1000	X500.		M29
N1001		ZR043	M15 M41
N1002			M45
N1003			M42 M23
N1004			M49 M79
N1005	XR042		M19
N1006	X500.		M48 M01
N1007		ZR045	
N1008			
N1009	XR070		
N1010	601	ZR022	
N1011			
N1012			M38 M12
N1013			M04 M39
N1014	604 R032		M08
N1015			
N1016	601	ZR045	M17
N1017	X500.		

Sl.6. Podprogram za odlaganje steznih čeljusti pomoću industrijskog robota PL-16.

u suštini predstavlja deo upravljačkog programa za skidanje izmeljivih čeljusti sa stezne glave i njihovo odlaganje u odgovarajući pomerljivi magacin sa kasetama izmenljivih čeljusti.

Na sl. 6. prikazan je segment izlaznih rezultata u vidu odgovarajućeg podprograma za industrijski robot PL-16. sa upravljačkom jedinicom PRIMO SG, Siemensove proizvodnje. Robot se koristi za manipulaciju u okviru FTM za struganje tipa NDM-16 iz proizvodnog programa "Georg Fischera". U navedenom FTM sa strugom i mernim sistemom upravlja posebna KNU jedinica SINUMERIC 6T.

## 5. ZAKLJUČAK

Neophodni povod ovim istraživanjima je razvoj kompleksnog sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa i upravljačkih informacija za FTS pod nazivom SAPOR-FTS u okviru integralnog SAPOR sistema i koncepcije

U slučaju delova postprocesorskog sistema koji se odnose za industrijske robote i merne mašine u ovoj razvojnoj fazi istraživanja su zadržana na nivou kompleksnih rešenja postprocesora u užem smislu koji potvrđuju koncepciju integralnog prilaza rešavanju ovog problema.

U nizu pitanja vezanih za budući razvoj postavljenog postprocesorskog sistema čine se najznačajnijim istraživanja u vezi informacija sadržanih u datotekama DAPOST1, DAPOST2... i stvaranje jednog opšteg *meta jezika* za opis programskih jezika NU jedinica pojedinih komponenti FTS.



## REFERENCE

- [1] HODOLIČ, J.: Integralni prilaz postprocesiranju upravljačkih informacija u sistemu za automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1988.
- [2] HODOLIČ, J., GATALO, R., ZELJKOVIĆ, M., MILOŠEVIĆ, V., KONJOVIĆ, Z., REKECKI, J. BOROJEV, LJ., i drugi: Automatizovano projektovanje tehnološkog procesa za NU fleksibilne tehnološke sisteme za obradu rotacionih izradaka - prva faza. Elaborat naučno istraživačke teme, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1986.
- [3] HODOLIČ, J., MILOŠEVIĆ, V., GATALO, R., REKECKI, J.: Sistemski postprocesor kao modul SAPOR-S sistema i baza za efikasnu primenu sistema u proizvodnim uslovima XVI Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, 1982.
- [4] CMMA Neutral Data File Specification, (Level One) for Coordinate Measuring Machines, CMMA-Coordinate Measuring Machine Manufactureers Association, London, 1986.
- [5] DIN 66215, CLDATA, Allgemeiner Aufbau und Satztypen, August 1974, DIN Taschenbuch 200, DIN Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, 1984.
- [6] DIN 66025, Programmaufbau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen, Januar 1983, DIN Taschenbuch 200, DIN Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, Berlin, 1984.
- [7] IRDATA-Programming of Numerically Controlled Handling Devices. DIN/VDI 2863, Verein Deutscher-Ingenieure, Düsseldorf, 1984.
- [8] JANIĆ, P.: Postprocesori - mjesto, funkcije, struktura i modeli, Tehnika - Elektrotehnika (1987) 3.
- [9] GATALO, R., HODOLIČ, J.: Automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških struktura - dostignuća u razvoju i koncepcije sopstvenih istraživanja za potrebe struktura za obradu rotacionih delova, XXII Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Ohrid, 1989.

J. Hodolič

INTEGRAL APPROACH TO CONTROL INFORMATION POSTPROCESSING IN THE  
SYSTEM FOR THE AUTOMATIC PROGRAMMING OF FLEXIBLE  
MANUFACTURING SYSTEM FOR THE MACHINING OF ROTATIONAL PARTS

S u m m a r y

In this paper the original investigation results of the integral postprocessor - system for one technologically oriented system for automatic programming of the flexible manufacturing system is presented. These results are given through the presentation of the model, based on the input information subsystem, subsystem of information basis, main computer program and output information subsystem. The results of these investigation are substantiated through one example in which testing of postprocessor solution is given.

D.DOMAZET, M.MANIĆ<sup>1</sup>

MODEL PROIZVODA KAO ELEMENT INTEGRACIJE CAD/CAPP/CAM SISTEMA

### 1.0 UVOD

Osnovni cilj uvođenja CIM sistema je integracija i automatizacija uz pomoć računara aktivnosti vezanih za procese projektovanja proizvoda, projektovanja tehnoloških postupaka, planiranja proizvodnje i upravljanja proizvodnim procesima.

Pristupi u izgradnji i primeni CIM sistema su različiti.

Na Mašinskom fakultetu u Nišu je prihvaćen koncept razvoja tzv. namenskih CIM sistema, tj. sistema za pojedine klase delova. Jedan takav računarski i integrisani sistem nazvan CIMROT namenjen je za konstruisanje, tehnološko planiranje i proizvodnju rotacionih delova tehnologijom rezanja.

Koncept ovog sistema je prikazan u /1/. Integracijom svih aktivnosti, za pojedine klase delova, u okviru CIM sistema postiže se brža, jednostavnija i jeftinija implementacija računara u konstruktivno-tehnološkoj pripremi proizvodnje, nego u slučaju integracije uopštenih sistema.

Svi moduli sistema mogu da se posmatraju nezavisno jer obavljaju različite aktivnosti. Međutim, te aktivnosti se odnose na proizvod, i on je prisutan u svim modulima, bez obzira na njihove specifičnosti.

Jezgro sistema, odnosno zajednički i osnovni deo svih modula čini model proizvoda, koji u sebi mora da sadrži sve potrebne informacije o delu koje su potrebne bilo kom modulu sistema. Ovaj model proizvoda se kreira u modulu CADROT.

U ovom radu biće prikazan izabrani način modeliranja proizvoda. Dobijeni modul na taj način predstavlja osnovni element integracije CAD/CAPP/CAM sistema.

### 2.0 MODELIRANJE PROIZVODA

Crtež proizvoda, kao rezultat procesa projektovanja, je polazna osnova kod planiranja tehnoloških postupaka izrade, i on u sebi sadrži sve potrebne geometrijske, tehnološke i topološke

---

<sup>1</sup> dr Dragan Domazet, dipl.ing., van.prof., Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14  
Miodrag Manić, dipl.ing., asistent-pripravnik, Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14

informacije o proizvodu, i kod tradicionalnih načina projektovanja i izrade on služi kao osnovni nosilac informacija o proizvodu.

Da bi se mogao da reši problem automatizovane izrade konstruktivno-tehnološke dokumentacije, neophodno je da se pređe od klasičnog načina prikaza dela (crteža), na njegovo prikazivanje preko nekog modela koji je razumljiv za računare, i sa kojim je moguća unutar računarska manipulacija.

Dakle, MODEL PROIZVODA je interna (unutrašnja) računarska prezentacija proizvoda, koja sadrži sve neophodne informacije o njemu, a koje su potrebne bilo kom moduli CIM sistema. Model proizvoda mora da sadrži sve geometrijske, topološke, tehnološke, logičke i opšte podatke o njemu, i on je osnovni element integracije svih modula sistema.

Osnovni nedostatak konvencionalnih CAD sistema je u tome što oni ne daju modele proizvoda koji sadrže sve potrebne podatke koji su nepohodni za automatizaciju aktivnosti projektovanja procesa izrade dela. Najčešće daju geometrijski model proizvoda koji je dobar za vizuelizaciju, ali je dosta skroman za tehnološko prepozanvanje dela.

Modeliranje proizvoda je u suštini jedan preobražaj (transformacija), u kojoj se sve geometrijsko-topološko-tehnološke karakteristike predstavljaju u vidu logičke strukture podataka ili pak pravila. Ove transformacije se formalno predstavljaju, ako je to moguće, u analitičkom vidu ili se pak primenjuju numeričke metode, dok se identifikacioni i opisni atributi koji, definišu te transformacije, predstavljaju u obliku simbola ili logičkih algoritama.

Sve modele proizvoda možemo realizovati na dva načina (sl.1):  
 1) u vidu strukture podataka kao NUMERIČKI MODEL, koji sadrži sve geometrijske i tehnološke karakteristike objekta, i  
 2) u vidu skupa određenih pravila kao LOGIČKI MODEL, pomoću kojih se simbolički definišu sve karakteristike proizvoda.

Korišćenjem, pred numeričkog, i simboličkog oblika opisivanja dela, znatno se pojednostavljuje identifikacija njegovih geometrijskih i tehnoloških svojstava prilikom planiranja procesa izrade (CAPP) i kontrole kvaliteta proizvoda.

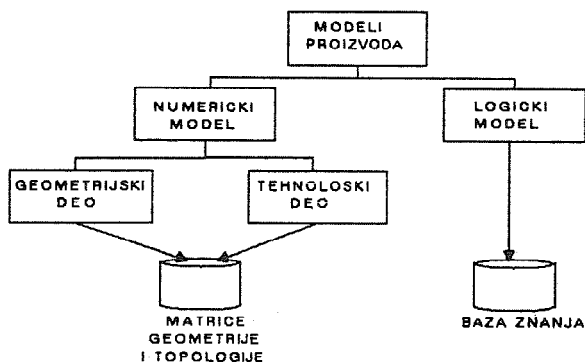
Numerički model, prikazan strukturom podataka, najčešće koristi klasične programske jezike za predstavljanje (FORTRAN).

Za simboličko definisanje karakteristika proizvoda, odnosno njegov logički model, potrebno je izvršiti logičko opisivanje proizvoda, njegovih relacija i atributa u obliku znanja o proizvodu, koja su najčešće izražena u vidu pravila, logičkih relacija i frejmova. Znanje o proizvodu se obično smešta u bazu znanja i ono se uglavnom realizuje jezicima veštačke inteligencije (LISP, PROLOG, POPLOG).

U ovom radu korišćen je, za početak istraživanja, numerički model proizvoda.

Već je rečeno da model dela mora u sebi da sadrži pored

opštih podataka još i geometrijske i tehnološke karakteristike.



sl.1 model proizvoda

Geometrijske karakteristike definišu osnovnu geometrijsku formu (oblik) dela, tj. definišu njegov geometrijski oblik. Kako su svi delovi koji se proizvode trodimenzionalni (prostorni), to je za njihovo potpuno prikazivanje potrebno da se predstave u prostoru (SOLID-modeling) ili da se prikažu pomoću tri projekcije. Rotacioni simetrični delovi su karakteristični po tome što je za njihovo kompletno prikazivanje najčešće potrebna i dovoljna samo jedna projekcija koja je upotpunjena neophodnim preseccima.

Naime, rotacioni deo možemo shvatiti, da nastaje od jedne ravanske konture koja rotira oko neke linije (ose), i zapremina koju ova kontura opisuje je u stvari sam deo.

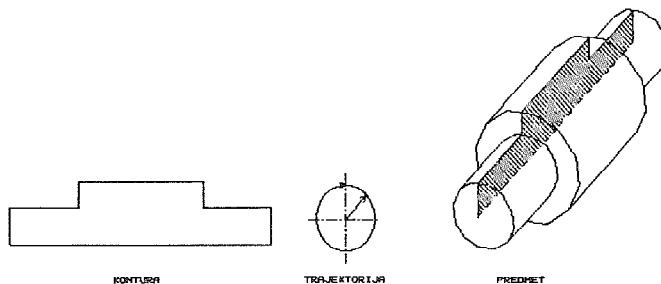
Za modeliranje ovakvih trodimenzionalnih objekata koristi se METODA PREBRISAVANJA (SWEEPING). Deo se prikazuje pomoću 2D zatvorene konture-krive, čijim kretanjem (prebrisavanjem prostora) po nekoj krivoj, odnosno trajektoriji dobijamo izgled dela. Znači da je potrebno definisati 2D zatvorenu krivu (konturu) i trajektoriju po kojoj ta kontura vrši prebrisavanje.

Ovde je kontura proizvoljna, zatvorena ili otvorena kriva a trajektorija je krug, dok je način prebrisavanja rotacija (sl.2).

Na ovaj način pomoću 2D konture predstavljamo 3D objekat što znatno uprošćava samo prikazivanje i smanjuje zahteve za potrebnom računarskom memorijom.

Međutim, ovako predstavljene rotacione simetrične površine nisu uvek dovoljne da definišu kompletan izgled predmeta. Na rotacionim predmetima mogu da se nađu i površine (oblici) koji nisu rotacioni, i ne dobijaju se prebrisavanjem konture (radijalni otvori, žlebovi, useci, razni ispusti, zupci is.). To su tzv. NEROTACIONE POVRŠINE i ne mogu da se prikažu kao deo osnovne konture (profila), već kao dodatni oblici osnovnoj konturi, odnosno pojedinim njenim segmentima.

Na osnovu toga sačinjen je model proizvoda čija osnovna struktura je prikazana na sl.3.



sl.2

Kao što se sa slike može da uoči, model proizvoda ima tri osnovana dela:

- deo sa opštim podacima o delu (materijal, pripadnost, naziv)
- deo sa geometrijsko-topološkim i tehnološkim podacima, koji je realizovan u vidu međusobno povezanih matrica brojeva, te se može nazvati NUMERIČKIM MODELOM,
- deo sa logičkim opisom dela u kome pojedina njegova svojstva se opisuju pomoću frejmova i produkcionih pravila, te se može nazvati LOGIČKIM MODELOM.

Do sada je postavljen i u fazi je testiranja samo numerički model, a razvoj logičkog modela je predviđen u sledećim fazama istraživanja.

Numerički model čini spoljna i eventualno jedna ili dve unutrašnje konture koje predstavljaju sve rotacione površine dela, kao i nerotacioni elementi koji se nalaze na rotacionom delu.

Konturu (odnosno konture u slučaju postojanja unutrašnjih otvora) čine rotacioni elementi koji mogu da se podele u dve grupe i to:

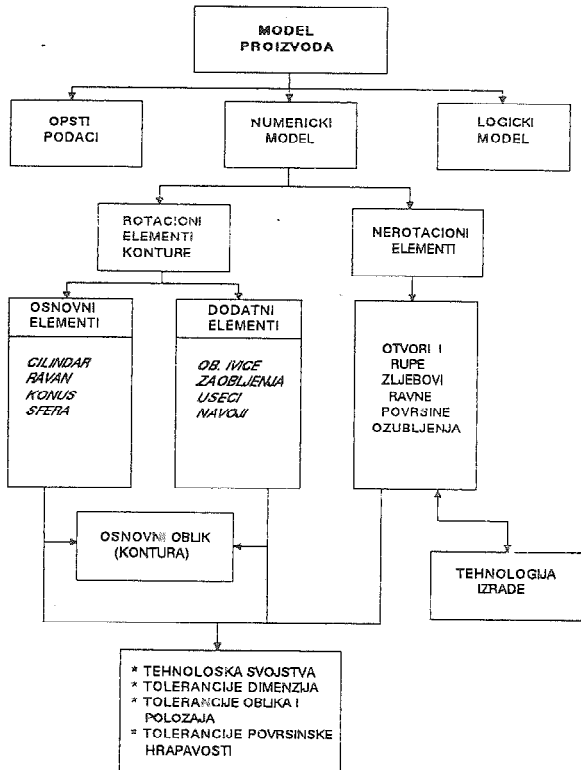
- a) osnovni elementi (cilindar, ravnopovršina, konus i dr.)
- b) dodatni elementi (oborene i zaobljene ivice, useci i sl.)

Osnovni elementi definišu globalni izgled konture i mogu da se izrađuju na strugu alatima za uzdužnu ili poprečnu obradu.

Sa tehnološkog aspekta, svaki od osnovnih oblika, zahteva posebnu vrstu obrade, definisanu prema tipu, stanju i kvalitetu površine.

Dodatni elementi se takođe obrađuju na strugu, ali oni najčešće predstavljaju standardne ili tipske tehnološke forme, koje se obrađuju pomoću posebnih ili specijalno za njih konstruisanih alata. Iz ovih razloga, oni su posebno grupisani i označeni preko identifikacijskih kodova da bi se u programu za tehnološko prepoznavanje oblika izvršila lakša identifikacija potrebnih obrada. Ovo iz razloga jer se ti dodatni elementi često sastoje iz većeg broja segmenata.

Treba napomenuti da se identifikacioni kod unosi u bazu podataka (model) prilikom konstruisanja dela, tako da konstruktor



sl.3 struktura modela proizvoda

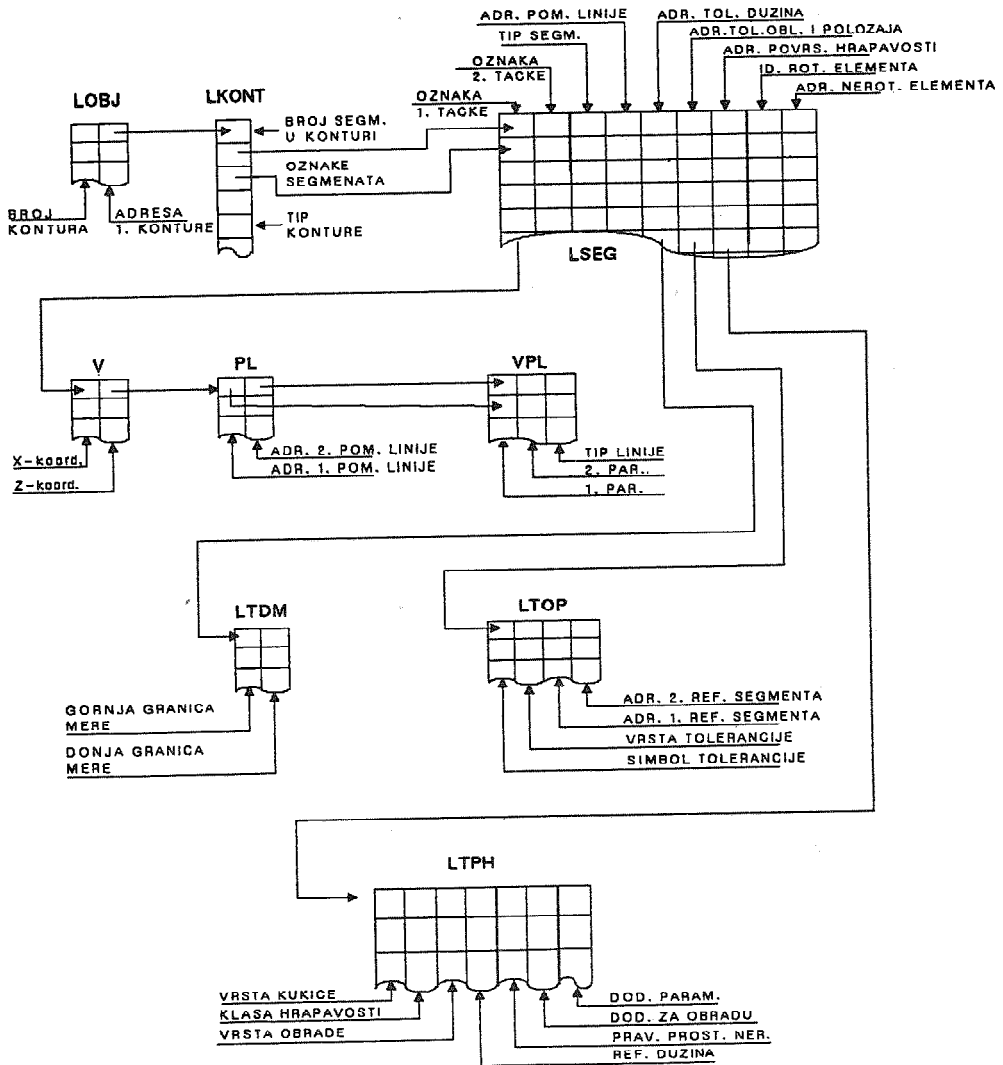
nije opterećen pamćenjem ID koda, niti on vrši klasifikaciju.

Na sl.4 prikazan je geometrijsko-tehnološki deo baze podataka modela proizvoda, koji je realizovan matricama i vektorima koji su povezani preko odgovarajućih pointera.

Rotacione površine predstavljaju se sa jednom, dve ili tri konture, koje mogu biti spoljašnja i unutrašnja. Svaku konturu čine linijski ili lučni segmenti.

Topologija segmenta konture definisana je u posebnoj matrici. U njoj se za svaki segment nalaze sledeći podaci:

- oznake krajnjih tačaka,
- oznaka tipa segmenta (vertikalni, horizontalni, kosi, lučni),
- adrese podataka o pomoćnoj liniji na kojoj se nalazi segmenti,
- adrese podataka o dužinskoj toleranciji,
- adrese podataka o toleranciji oblika i položaja,
- adrese podataka o površinskoj hrapavosti,
- ID kod eventualne pripadnosti tog segmenta nekom dodatnom rotacionom elementu,
- adresa podataka o nerotacionim elementima, ukoliko su prisutni na rotacionom elementu koji predstavlja segment konture.



sl.4 organizacija baze podataka

U posebnim matricama nalaze se koordinate krajnjih tačaka segmenta, adrese pomoćnih linija u čijim preseccima se nalaze krajnje tačke segmenta, potrebni opisni parametri pomoćnih linija ( $y=a*x+b, \dots$ ), kao i tipovi pomoćnih linija, odnosno nalaze se jednačine tih linija.

Tehnološke karakteristike se vezuju za određene segmente. U bazi se nalaze podaci o tolerancijama dužinskih mera odgovarajućih segmenta (30h7 i sl.), podaci o tolerancijama oblika i položaja (cilindričnost, uravnjenost i sl.) segmenta, kao i veza sa referentnim segmentom u odnosu na koji se zadaje odstupanje.

Baza sadrži i podatke o površinskoj hrapavosti odgovarajućih segmenta, odnosno sve parametre iz oznake za kvalitete obrađenih površina.

Ovo je osnovni deo baze podataka o rotacionim površinama, i on je uvek prisutan u modelu proizvoda odn. bazi podataka o proizvodu.

Ukoliko na nekom segmentu postoje i nerotacioni elementi, onda se preko adrese nerotacionog elementa, vrši prebacivanje u deo baze podataka koji definiše geometrijsko-topološke i tehnološke karakteristike nerotacionih elemenata i njihov relativni položaj u odnosu na rotacioni segment.

Za svaki nerotacioni element model sadrži sledeće podatke u bazi podataka:

- tip nerotacionog elementa,
- tipove podelemenata koji čine nerotacioni element,
- dimenzije karakterističnih tačaka,
- podatke o relativnom položaju u odnosu na rotacioni segment,
- odgovarajuće tolerancije dužina, položaja i hrapavosti površina elementa.

Organizacija baze podataka o nerotacionim elementima je slična kao i za rotacione elemente.

Konstruisanje dela i definisanje njegovog modela, vrši se pomoću modula CADROT na sledeći način: Najpre se interaktivnim korišćenjem grafičkog monitora, menija i pokazivača unose osnovni elementi konture, a zatim se posredstvom menija biraju (uglavnom standardni i tipski) dodatni elementi konture i postavljaju se ne željeno mesto u konturi. Zatim se posredstvom menija biraju i na određena mesta postavljaju nerotacioni elementi dela. Kao rezultat dobija se tehnički crtež dela i numerički model dela koji se arhivira na disk memoriji računara.

Kako se postupak konstruisanja dela vrši sintezom rotacionih i nerotacionih elemenata, to se u time model (interno) unose i informacije (korišćenjem ID kodova elemenata) o svim unetim tehnološkim formama prisutnim na delu. Ovo znatno olakšava njegovo kasnije tehnološko prepoznavanje u narednom modulu CADROT. Zato i logički model nije za sada neophodan za tehnološko prepoznavanje. On će se ipak kasnije uključiti u model proizvoda jer olakšava kontrolu tehnološkosti dela.



## 3.0 ZAKLJUČAK

U radu je prikazan model proizvoda koji se koristi u sistemu CIMROT. On treba da posluži kao element integracije svih modula sistema. Zato mora da sadrži informacije o proizvodu koje su potrebne bilo kom modulu. Izloženi model, koji je realizovan kao numerički model, to za sada omogućava. Ujedno on treba da posluži za dalja istraživanja u oblasti modeliranja proizvoda. Njihov cilj je da se pronade optimalni način modeliranja proizvoda koji bi bio sinteza numeričkog i/ili logičkog modela. Takav model treba da omogući kontrolu tehnološkosti dela a i kontrolu zadovoljavanja pravila i standarda konstruisanja.

*Reference:*

- (1) D.Domazet, M.Manić, Koncept CIM sistema za rotacione delove CIMROT, 15. Jupiter konferencija, Cavtat, 1989
- (2) M.Manić, D.Domazet, Metod planiranja tehnoloških procesa u modulu CAPROT, 22. Savetovanje proizvodnog mašinstva, Ohrid, 1989
- (3) V.Milašić, Teorija projektovanja tehnoloških sistema, its, knjiga 2, Mašinski fakultet Beograd, 1987
- (4) J.Peklenik, G.Hlebanja, Development of a CAD System Based on Part Engineering and Binary Coding Matrix, Annals of the CIRP, Vol.37/17/1988/
- (5) M.Manić, Automatizacija projektovanja tehnoloških procesa izrade rotacionih delova na bazi metoda prepoznavanja, Magistarski rad (u pripremi), Mašinski fakultet Niš, 1989
- (6) T.C.Chang, R.A.Wysk, An Introduction to Automated Process Planning Systems, Prentice-Hall, 1985
- (7) S.Imamura, T.Kojima, H.Sekiguchi, K.Inoue, A Study on the Object Oriented Product Model-Representation of Geometry and Dimension, CIRP Annals, Vol.37/88/
- (8) F.Kimura, H.Suzuki, H.Ando, T.Sato, A.Kinosada, Variational Geometry Based on Logical Constraints and its Applications to Product Modeling, Annals of the CIRP, Vol.36/1/1987

D.DOMAZET, M.MANIĆ

PRODUCT MODEL AS AN ELEMENT OF THE CAD/CAPP/CAM SYSTEM INTEGRATION

*S u m m a r y*

*In this paper, the product model in the CIMROT system, is presented, which has to be used as the integration element of all the systems modules. For these reasons, this model must have all information needed for same modulus. The presented model realized as a numerical one makes it possible for the time being. At the same time, it should have been the base for further investigation in the field of the modelling of products. The goal of these investigations is to find the optimal way for modelling of products, which could be the synthesis of numerical and/or logical model. Such a model has provide for the control of the machinability of a product as well as the control of the design standards and rules being satisfied.*

M.MANIĆ, D.DOMAZET<sup>1</sup>

METOD PLANIRANJA TEHNOLOŠKIH PROCESA U MODULU CAPROT

1.0 UVOD

Osnovni cilj CIM sistema je da integrišu i automatizuju uz pomoć računara procese projektovanja proizvoda, projektovanja tehnoloških postupaka, planiranje proizvodnjom i upravljanje proizvodnim procesima.

Jedan takav softverski sistem razvijen na Mašinskom fakultetu u Nišu nosi naziv CIMROT, i on je računarski integrisan sistem za konstruisanje, tehnološko planiranje i proizvodnju rotacionih simetričnih delova tehnologijom rezanja.

Softverski deo sistema je prikazan u /1/. Svi moduli sistema koriste odgovarajuću bazu podataka i bazu znanja o osnovnim entitetima sistema: proizvodu i procesu. Jezgro sistema, odnosno zajednički i osnovni deo svih modula, čini model proizvoda koji u sebi sadrži sve potrebne informacije o delu koje su potrebne bilo kom modulu sistema, a koji se kreira u modulu CADROT. Model proizvoda prikazan je u /1/.

U ovom radu biće prikazan model procesa, koji je ugrađen u modul za projektovanje tehnoloških procesa-CAPROT, kao i osnovne funkcije samog modula.

2.0 MODEL PROCESA

Projektovanje procesa može da se definiše kao aktivnost, u kojoj se, na osnovu konstrukcije proizvoda, a imajući u vidu proizvodna ograničenja vrši: određivanje vrsta i redosleda potrebnih obrada, vrsta i redosleda potrebnih operacija i zahvata, odabiranje potrebnih mašina, izbor i projektovanje pribora za stezanje, izbor reznog alata, određivanje režima rezanja, definisanje putanje alata, izrada programa za NC mašine alatke, izrada plana kontrole i programa za NC merne mašine, određivanje operacijskih vremena i dr.

CAPP (Computer-Aided Process Planning) sistemi predstavljaju sisteme za automatizovano projektovanje tehnoloških postupaka

---

<sup>1</sup> Miodrag Manić, dipl.ing., asistent-pripravnik, Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14  
dr Dragan Domazet, dipl.ing., van.prof., Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14

primenom računara. Osnovne aktivnosti u okviru CAPP sistema predstavljaju automatizovane aktivnosti procesa projektovanja tehnoloških postupaka.

Automatizacija odvijanja određene aktivnosti, zahteva da se izvrši modeliranje procesa vezanog za tu aktivnost. Zbog toga je potrebno da se na neki način izvrši modeliranje svih aktivnosti CAPP sistema.

Pod modeliranjem se ovde podrazumeva interna (unutrašnja) računarska prezentacija načina obavljanja određenih aktivnosti. Kako svaka aktivnost u sebi sadrži logiku za donošenje zaključaka, to je neophodno da se ta logika opiše na neki način.

Kod modeliranja procesa mogu da se istaknu dve osnovne metode modeliranja :

- 1)algoritamske
- 2)nealgoritamske

Kod algoritamskih metoda, logika procesa se programski realizuje korišćenjem određenog algoritma, koji u svom radu koristi potrebne podatke iz baze podataka. Najčešći oblici tih algoritama su dati u obliku iskaza:

IF (uslov) THEN (akcija)

Kombinacijim odgovarajućih iskaza, uz promenljive uslove i akcije dobija se logika odgovarajućih procesa, koja se ugrađuje u program i predstavlja određenu vrstu proceduru za iznalaženja optimalnog procesa (rešenja).

Kod nealgoritamskih metoda, logika procesa se ne ugrađuje u program, već u bazu znanja o procesu u vidu odgovarajućih pravila, frejmova ili semantičkih izraza. Pri ovom načinu modeliranja, baza znanja je u stvari kombinacija strukture podataka i procedure, odnosno proceduralnog znanja koje ima za cilj da izgradi sistem koji zna kako i na koji način da iskoristi ta znanja. Pri ovom načinu modeliranja procesa, najčešće se koriste jezici veštačke inteligencije (LISP, PROLOG) i ovakvi modeli se ugrađuju kod ekspertnih sistema.

Modeliranje procesa nealgoritamskim metaodama pruža znatno veću fleksibilnost i prilagodljivost programskog sistema uslovima primene. S druge strane, prednost algoritamskih metoda je u tome što ne zahtevaju brze i moćne računare i više programske jezike kao nealgoritamske metode.

U odnosu na način (logiku) projektovanja procesa CAPP sistemi se dele u tri grupe:

1. Varijantni način projektovanja
2. Generativni način projektovanja
3. Vario-generativni način projektovanja (hibridni)

Varijantni način predstavlja automatizaciju primene principa grupne tehnologije u proizvodnji. Ovim načinom se tehnološki postupak bira na osnovu standardnih planova obrade koji su vezani za određene familije delova.

Generativni način koristi informacije o proizvodu (npr. model proizvoda) i na osnovu logike za odlučivanje koja je

ugrađena u sistem, definišu tehnološki postupak. Logika za odlučivanje predstavlja model procesa, tj. opisuje logiku i način rada tehnologa.

U modulu CAPROT vrši se projektovanje tehnološkog procesa izrade generativnom metodom. Ovde se određuju potrebne tehnološke operacije i njihov redosled, vrši se izbor mašina i vrši se planiranje svake operacije koje obuhvata određivanje redosleda zahvata, određivanje alata, određivanje optimalnih režima rezanja, vremena obrade i sl. Da bi realizovao ove zadatke modul CAPROT koristi:

- model proizvoda,
- model tehnološkog procesa, i
- tehnološku bazu znanja i bazu podataka.

Model proizvoda je ulaz u sistem. On se dobija iz modula CADROT i služi za tehnološko prepoznavanje proizvoda, pošto u sebi sadrži sve potrebne geometrijske, topološke i tehnološke karakteristike dela.

Model tehnološkog procesa, koji određuje logiku i ekonomiju procesa, koristeći adekvatna pravila, opisuje tehnološke mogućnosti svake tehnološke operacije na određenoj mašini sa određenim alatima.

On u sebi sadrži logiku redosleda tehnoloških operacija i zahvata, te omogućava brzo i lako projektovanje tehnološkog procesa. U sadašnjoj fazi razvoja, ovaj model je realizovan algoritamskim programiranjem pomoću FORTRAN jezika.

Ova logika redosleda tehnoloških operacija i zahvata predstavlja jezgro modula CAPROT. Osnovna njena funkcija je upoređivanje i usaglašavanje konstruktivnih karakteristika predmeta rada sa tehnološkim mogućnostima konkretne proizvodnje, sa ciljem da se raspoloživim tehnološkim postupcima obrade i alatima, zadovolje konstruktivni zahtevi predmeta.

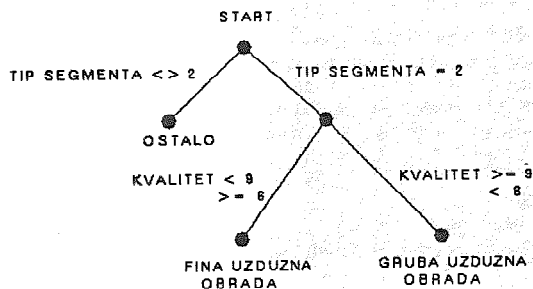
Uspešno obavljanje ove aktivnosti zahteva da se na neki način predstave tehnološke mogućnosti proizvodnje. Jedan od efikasnijih načina, a koji je i ovde korišćen, je prikazivanje tehnoloških mogućnosti preko iskaza IF...THEN.

Ovakav skup logički povezanih i međusobno uslovljenih iskaza usmerava određene aktivnosti (definiše potrebne obrade) kada su ispunjeni neki od specificiranih uslova. Za ispitivanje uslova koriste se potrebni podaci iz modela proizvoda, koji se upoređuju sa postavljenim kriterijumima u modelu procesa. Biće prikazan jedan primer modeliranja procesa za uzdužnu strugarsku obradu.

```
IF (tip segmenta=cilindar) THEN
  IF (kvalitet.GT.9) THEN
    zahvat=gruba uzdužna obrada
  ELSE IF (kvalitet.LT.9.AND.kvalitet.GT.6) THEN
    zahvat=fina uzdužna obrada
  END IF
END IF
```

Ovde se logika za odlučivanje realizuje u obliku stabla za odlučivanje, pomoću koga se vrši predstavljanje konkretnih akcija

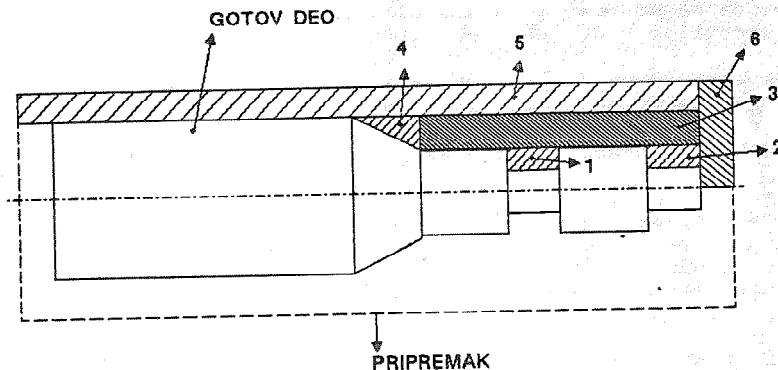
(obrada), a koje su posledica kombinacije specificiranih ulaznih podataka i uslova. Gornji primer u obliku stabla dat je na sl.1.



sl.1 stablo za odlučivanje

Kod ovog modula se koristi način zaključivanja sa olančavanjem operacija-zahvata (tj, stanja predmeta rada) unazad (backward planning), tj projektovanje tehnološkog postupka dodavanjem slojeva materijala. To je takav način gde se za početno stanje uzima gotov komad (završna kontura), i sukcesivnim dodavanjem (nanošenjem, filling) određenih slojeva materijala, kreće se unazad do dobijanja definisanog oblika pripremljaka. Nanošenje materijala se vrši korišćenjem postavljenih pravila.

Svaki nanešeni sloj materijala predstavlja praktično određenu operaciju ili zahvat obrade. Zbog samog pristupa prvi dodati materijal predstavlja praktično zadnju operaciju (zahvat) prilikom konkretnog izvođenja obrade, a zadnji dodati materijal operaciju (zahvat) koji je prvi zahvat pri obradi predmeta. Na sl.2 prikazana je šema ovakvog načina zaključivanja.



sl.2

Prilikom dodavanja slojeva materijala ne vodi se računa o tome šta je nasledna površina. Razlog je što dodavanjem slojeva materijala treba da se zadovolji samo početno stanje, kojim se rešenjem dobija početno stanje za naredni korak zaključivanja. Praktično, nakon jedne ispune, dobijeni oblik proizvoda tretira se kao polazni oblik za dalje procese dodavanja, i u suštini se

zaboravljaju prethodni procesi (uslovno jer se oni pamte kao redosled obrade).

Pripremak može da bude definisan, ili se i on automatizovano definiše. Pri ispuni se kreće od viših kvaliteta obrade ka nižim ili ka pripremu.

Ovim načinom postoji mogućnost da se u logiku ubaci bilo kakav oblik proizvoda, i da se zaključivanje prekine na bilo kom nivou. Sistem je nezavisan od oblika proizvoda, generativan je.

### 3.0 CAPROT PROCESOR

Na sl.3. prikazana je strukturna šema modula CAPROT sa njegovim modulima.

U CAPROT procesoru se najpre vrši identifikacija nerotacionih elemenata, čitanjem njihovih ID kodova iz modela proizvoda a zatim se vrši njihovo upoređivanje sa ID kodovima arhiviranih tipskih tehnoloških sekvenci sa ciljem da se definišu potrebne tehnološke operacije za njihovu proizvodnju.

Nakon toga vrši se određivanje dimenzija i oblika polaznog materijala-priprema.

Sledeći modul vrši izbor adekvatnih mašina na kojima će se izvoditi pojedine operacije. Raspoložive mašine su smeštene u datoteci mašina i u njoj se nalaze svi neophodni parametri za potpuno definisanje geometrijskih, kinematskih, tehnoloških i energetske-režimskih mogućnosti mašine.

Nakon toga sledi planiranje svake operacije da bi se dobio plan obavljanja konkretnih zahvata. Za sada je razvijen modul za automatizovano odredjivanje redosleda zahvata za strugarske operacije. Za planiranje procesa izrade rotacionih simetričnih površina dela, koristi se sledeći postupak:

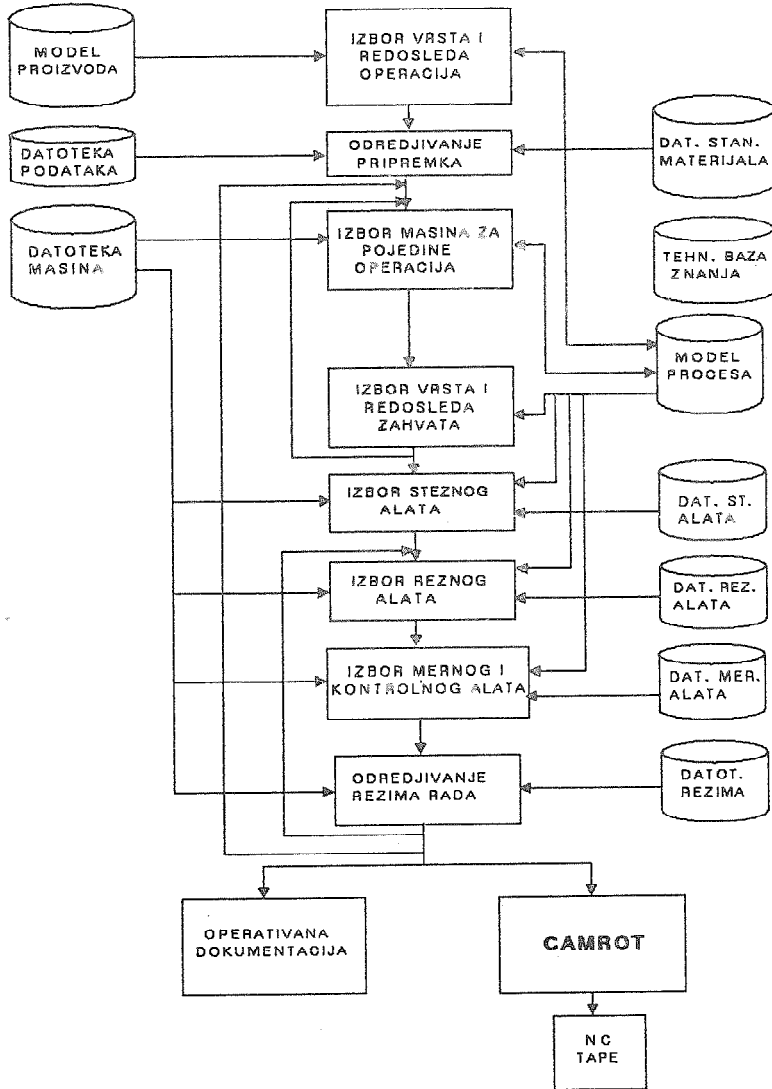
- a) ispituje se osnovna kontura i određuje se plan stezanja
- b) za svaki tip konture, a) polazeći od spoljne,
  - identifikuju dodatni elementi i određuje redosled njihove obrade,
  - ispituje se oblik osnovne konture (bez dodatnih elemenata) i određuje redosled potrebnih zahvata obrade struganjem.

Za svaku obradu se ispituje sadržaj konture i utvrđuju potrebni zahvati obrade. Prvo se analiziraju kvaliteti površina da bi se ustanovilo postojanje zahvata fine obrade, krećući se obrnutim redom u odnosu na hijerarhiju obrada (olanžavanje unazad).

Kada se ustanovi postojanje fine obrade, ta se površina prekrije slojem materijala po celoj dužini, čija je debljina jednaka dodatku za finu obradu. Tako se dobija nova kontura koja se dalje analizira da bi se definisali sledeći zahvati.

Nakon fine obrade isti postupak se ponavlja i za grubu obradu. Ovde se prekrivanje slojem materijala vrši slojem čiji oblik, uglavnom, ne zavisi od vrednosti dodataka za obradu već je uslovljen geometrijskim oblikom predmeta rada.

## CAPROT PROCESOR



s1.3 CAPROT procesor

Ovakvim postupkom na kraju analize se dobija cilindrični pripremak kao krajnja kontura.

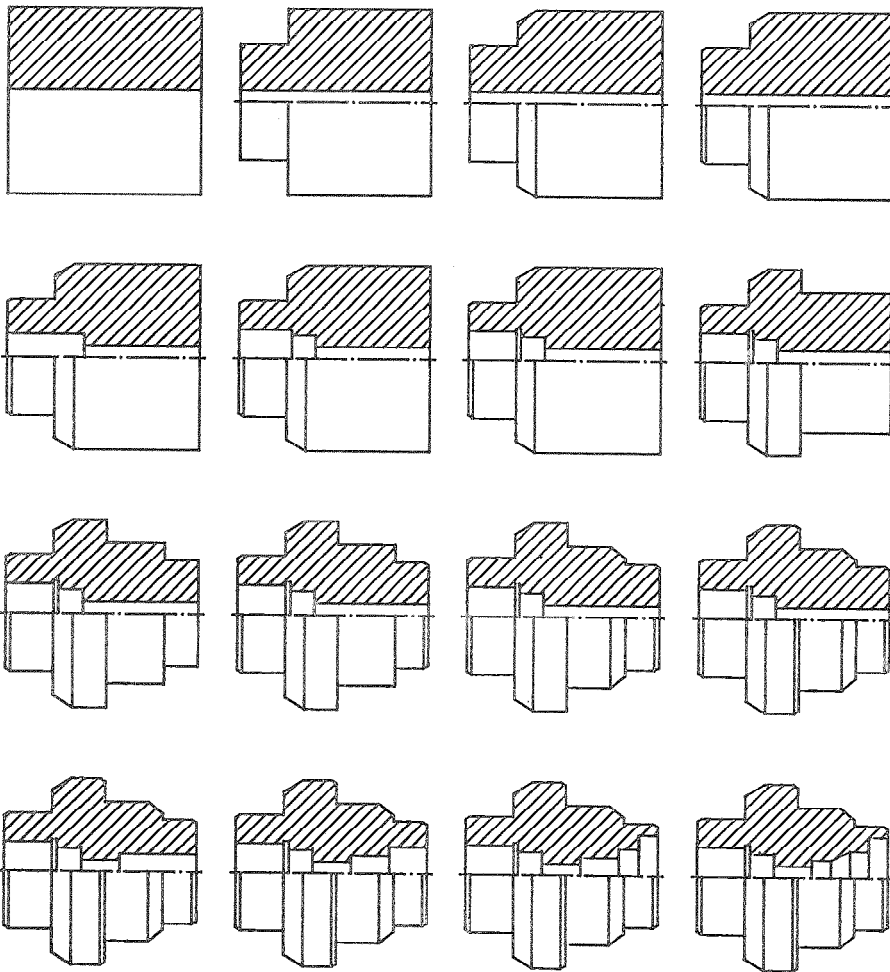
Nakon analize dobije se kompletan redosled zahvata. Kao opisni parametri svakog zahvata dobijaju se: naziv i broj zahvata, početni prečnik obrade, krajnji prečnik obrade i dužina obrade

(data kao razlika koordinatnih tačaka početka i kraja obrade).

Koordinate svakog zahvata se ispisuju u koordinatnom sistemu predmeta koji je usvojen prilikom konstruisanja dela, tako da mogu lako da se uoče mesta pojedinih zahvata.

Na grafičkom ekranu može da se prati stanje i oblik konture posle svakog zahvata obrade, što znatno olakšava razumevanje predloženog redosleda zahvata.

Program poseduje i mogućnost za eventualnu izmenu predloženog redosleda zahvata, brisanje nekog od zahvata ili pak ubacivanje novog zahvata na željeno mesto.





Krajnji redosled zahvata sa potrebnim opisnim parametrima je izlaz iz ovog dela modula, i on služi kao polazna osnova za kasnije delove modula (izbor alata, određivanje optimalnih režima rezanja, definisanje putanje alata i dr.).

Na sl.4 je prikazan primer određivanja redosleda zahvata pri strugarskoj obradi, čiji redosled se dobija kao izlazni dokument iz ovog modula.

#### 4.0 ZAKLJUČAK

U radu je prikazan model tehnološkog procesa koji se koristi u modulu CAPROT pilotskog sistema CIMROT. Model je za sada razvijen algoritamskim programiranjem pomoću produkcionih pravila u FORTRAN jeziku. On treba da posluži kao osnova za dalja istraživanja u ovoj oblasti. Njihov cilj je iznalaženje optimalnih načina modeliranja procesa, sa aspekta primena metoda veštačke inteligencije, koje treba da omogućé razvoj ekspertnog modula CAPROT.

#### Reference:

- (1) D.Domazet, M.Manić, Koncept CIM sistema za rotacione delove CIMROT, 15. Jupiter konferencija, Cavtat, 1989
- (2) D.Domazet, M.Manić, Model proizvoda kao element integracije CAD/CAPP/CAM sistema, 22. Savetovanje proizvodnog mašinstva, Ohrid, 1989
- (3) V.Milačić, Teorija projektovanja tehnoloških sistema, its, knjiga 2, Mašinski fakultet Beograd, 1987
- (4) M.Manić, Automatizacija projektovanja tehnoloških procesa izrade rotacionih delova na bazi metoda prepoznavanja, Magistarski rad (u pripremi), Mašinski fakultet Niš, 1989
- (5) T.C.Chang, R.A.Wysk, An Introduction to Automated Process Planning Systems, Prentice-Hall, 1985
- (6) B.J.Davies, I.L.Darbyshire, A.J.Wright, K.F.Zang, IKBS Process Planning System for Rotational Parts, 2. International Summer Seminar "Intelligent Manufacturing Systems", Dubrovnik, 1987
- (7) B.J.Davies, N.W.Park, I.L.Darbyshire, A.J.Wright, CAPP Systems- The State of the art and future trends, I Međunarodni CIM seminar, Niš, 1987
- (8) K.Iwata, Knowledge Based Computer Aided Process Planning, 2. International Summer Seminar "Intelligent Manufacturing Systems, Dubrovnik, 1987

M.Manić, D.Domazet

#### THE METHOD OF PROCESS PLANNING IN THE CAPROT MODULUS

#### S u m m a r y

*In this paper, the model of the manufacturing process which is used in CAPROT modulus of the CIMROT pilot system, is presented. In this case, the model is developed by using algorithmic programming in FORTRAN language. The model should be the basis for further investigations in this field. The goal of these investigation is the find the optimal ways for the process modelling in accordance with the application of the artificial intelligence. These optimal ways are expected to give conditions for the development of the CAPROT expert module.*

P. Bojanić \*

**NEKI ASPEKTI IZGRADNJE EKSPERTNOG SISTEMA ZA  
PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE KUTIJASTIH  
DELOVA**

**U V O D**

Mnogi pristupi u izgradnji integrisanih CAD/CAM sistema zasnivaju se na izdvajanju odredjenih geometrijskih entiteta iz internog geometrijskog modela i prenošenjem istih u deo sistema za projektovanje tehnologije. Na tako izdvojenoj bazi identifikuju se granične ravni i ravni vodjena alata, što je i neophodno pri utvrđivanju putanje alata za obradu na NU mašinama alatkama. U većini slučajeva komercijalni CAD/CAM sistemi obezbeđuju, iz oblasti projektovanja tehnološkog procesa izrade, u suštini samo fazu generisanja putanje alata. Medjutim, sam proces projektovanja tehnologije je znatno kompleksniji. On obuhvata, hijerhijski strukturisane, sledeće aktivnosti: izbor priprema, izbor tehnološkog procesa, izbor mašine, izbor pribora, izbor redosleda operacija i zahteva, izbor alata, izbor parametara obrade, generisanje putanje alata, proračun vremena i troškova i generisanje pogonskih instrukcija i ilustracija.

Da bi se na ovakvom konceptu shvatanja obuhvatnosti pojma projektovanja tehnologije (CAM) razvijao integrisani CAD/CAM sistem, neophodno je imati i drugačiji pristup u uspostavljanju st-

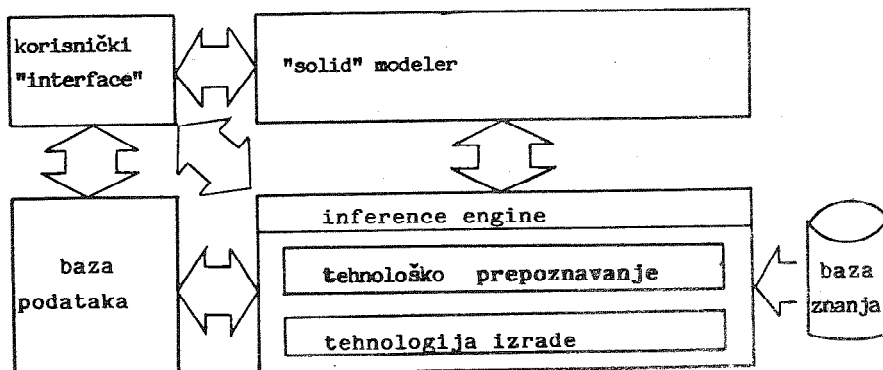
\* Dr Pavao Bojanić, dipl.inž., docent Mašinskog fakulteta u Beogradu, ul. 27. marta 80

ruktura podataka u internom geometrijskom modelu, algoritmima za obradu internog geometrijskog modela kao i u oblasti tehnološkog prepoznavanja radnog predmeta. Ovi zahtevi podrazumevaju vrlo intenzivnu interakciju sa kompjuterskim modelom radnog predmeta, kroz koju će se moći ostvariti inkrementalna promena geometrije od priprema do izratka. Pri tome je moguće kroz prepoznavanje tehnoloških oblika na principima veštačke inteligencije uz bazu podataka i bazu znanja definisati tehnologiju izrade. Neki rezultati istraživanja u oblasti razvoja CAM sistema [1,4] i u oblasti struktura podataka [5-7] daju dovoljno osnova za uspostavljanje koncepta CAD/CAM sistema vrlo visokog stepena integracije. Zapreminski model radnog predmeta uz geometrijske i topološke podatke i tehnološke zahteve, predstavlja osnovu za tehnološko prepoznavanje a baza znanja i baza podataka osnovu za generisanje plana izrade. Struktura podataka treba da obezbedi u "realnom" vremenu inkrementalnu promenu oblika obratka saglasno redosledu izvođenja operacija.

U ovom radu se daje detaljnije osnova tehnološkog prepoznavanja i struktura topoloških podataka u internom modelu.

#### Arhitektura ekspertnog sistema

Osnovna arhitektura ekspertnog sistema za projektovanje tehnološkog procesa izrade prikazana je na sl. 1. Ulaz u proces je geometrijski model, baza podataka i baza znanja za tehnološko prepoznavanje i projektovanje tehnološkog procesa izrade. Korisničkim interfejsom povezane su navedene celine u jedinstven sistem.



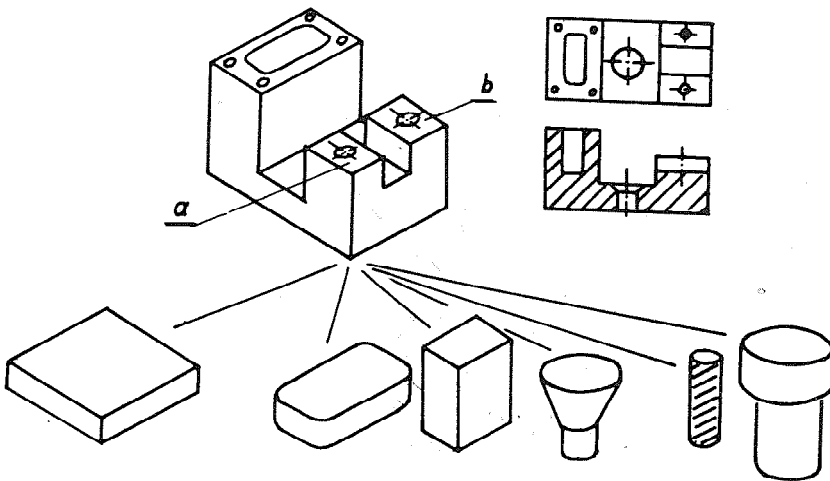
Sl.1. Osnovna struktura ekspertnog sistema za projektovanje tehnološkog procesa izrade

### Tehnološko prepoznavanje

Na osnovu geometrijskih i topoloških podataka o radnom predmetu - izratku (IZ) i podataka iste prirode o pripremu (PR) definiše se razlika:

$$TO = (PR - IZ)$$

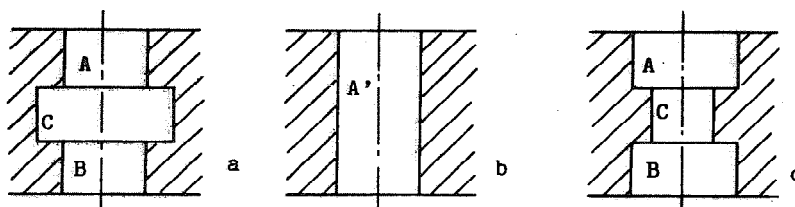
koja predstavlja skup tehnoloških oblika (TO) u formi zapreminskih tela koja treba procesom rezanja ukloniti sl. 2.



Sl.2: Zapreminski oblici koje treba ukloniti rezanjem

Utvrđujući konačan skup tehnoloških oblika za koje je moguće na osnovu baze znanja projektovati tehnološki proces izrade, samo je prvi korak u proceduri procesa tehnološkog prepoznavanja. Naime, tehnološko prepoznavanje podrazumeva i utvrđivanje skupnih tehnoloških oblika, koji mogu obuhvatiti dva ili više pojedinačnih oblika iz geometrijskog modela radnog predmeta. Tako npr. ravne površine a i b sa sl. 2 pripadaju istom skupnom tehnološkom obliku zbog istih tehnoloških zahteva, geometrije i položaja. Dekomponovanjem složenih tehnoloških formi moguće je doći do skupnih oblika koji su zajednički za više površina. Tako npr. na sl. 3a oblici A i B formiraju skupni oblik A' dok oblici A i B na sl.3c, i ako imaju isti prečnik i isti položaj osa, ne mogu se kombinovati u formiranju skupnog oblika A' na sl. 3b.

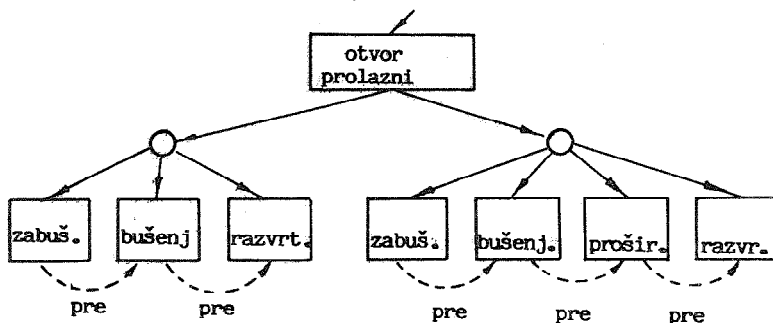
Ovakav pristup, i ako zasnovan na software-skom rešenju, ima svoje korene kod konvencionalnog procesa projektovanja tehnološkog



Sl. 3. Škupni tehnološki oblik

logiji) i izrade kutijastih delova kroz utvrđivanje "strana" i "osa" za obradu. Svaka površina iz geometrijskog modela može pripadati samo jednom skupnom tehnološkom obliku, dok jedan skupni tehnološki oblik može objedinjavati više geometrijskih površina.

Utvrđivanjem skupa skupnih tehnoloških oblika i njihovih tehnoloških zahteva pristupa se procesu projektovanja plana izrade. U bazi znanja za svaki tehnološki oblik, zavisno od tehnoloških zahteva, definisani su redosledi izvodjenja zahvata uz odgovarajući izbor alata i režime rezanja. Tako npr. tehnološki oblik "otvor", koji može biti prolazan ili slep, ima definisana pravila rezanja kao što je prikazano na sl. 4.

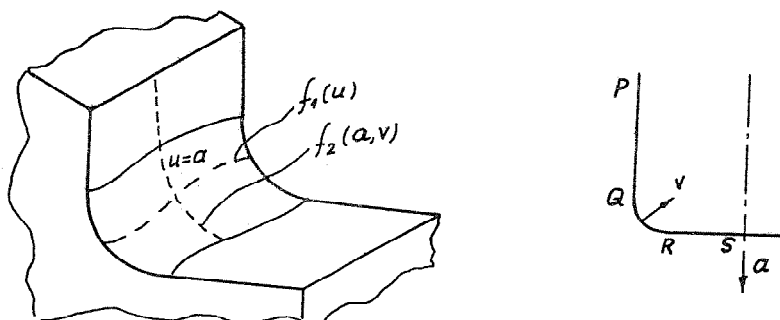


Sl. 4. Pravila izrade otvora

Za složene tehnološke oblike, koji se u principu svode na analitički opisive i neanalitički opisive površine, jedan od složenijih problema je određivanje putanej alata date geometrije. Na sl. 5 dat je segment površine sastavljen iz tri dela A, B i C. Površine A i B se mogu na osnovu geometrijskog modela uspostavljenog u CAD sistemu predstaviti u formi:

površina A:

$$X = L(u) + N(u,v),$$



Sl. 5. Korelacija geometrije alata i površine

površina B:

$$X = L(u) + M(u,v).$$

Površina A će se generisati delom alata PQ, površina B delom alata QR a površine C delom alata RS. Očigledno je da se svaka tačka alata kreće po trajektoriji  $L(u)$ , dok je trajektorija vektora  $\vec{v}$  u nekoj tački data izrazom

$$\vec{T} = [dL(u)/du \cdot dM(a,v)/dv].$$

Osa alata  $\vec{a}$  ima stalni ugao sa vektorom  $\vec{v}$ , a trajektorija iste je određena vektorskim proizvodom vektora  $\vec{v}$  i vektora ose alata  $\vec{a}$ :

$$\vec{T}_1 = \vec{v} \times \vec{a}$$

#### Struktura podataka u bazi znanja

Slično strukturi podataka u geometrijskom modelu, i struktura podataka u bazi znanja se može uspostaviti u formi lanaca pointera čime se omogućava kretanje unapred i unazad po uspostavljenoj strukturi. Znanje je predstavljeno u formi IF.... THEN ... Tako npr. formalizovano uspostavljanje veze između četiri uslova i 2 akcije bi izgledalo:

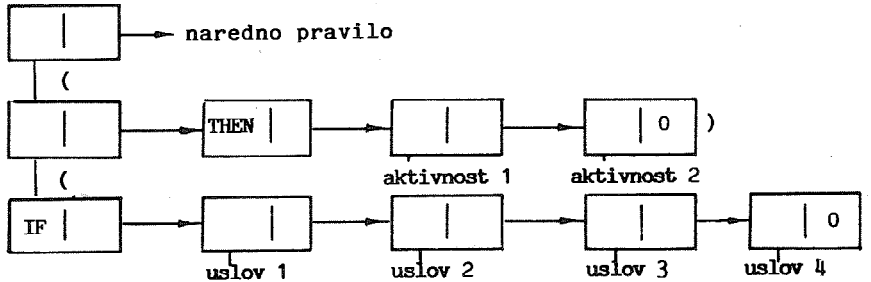
```
(
  (IF
    (uslov 1)
    (uslov 2)
    (uslov 3)
    (uslov 4)
  )
  (THEH
```

```

    (akcija 1)
    (akcija 2)
  )
).

```

Schema povezivanja uspostavljene strukture za gore opisano pravilo prikazana je na sl. 6.



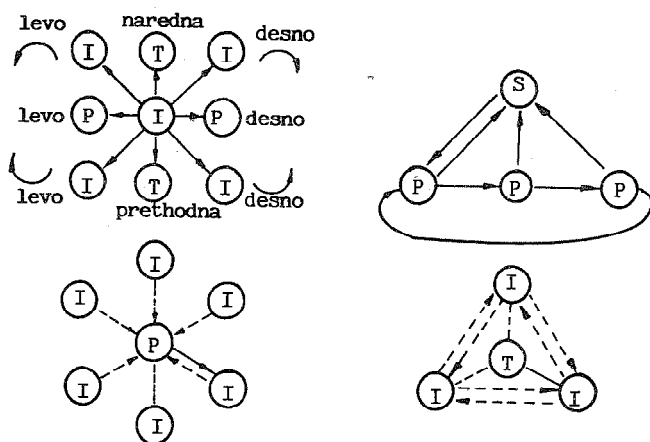
Sl. 6. Shema povezivanja u bazi znanja

#### Topološki podaci o radnom predmetu

Poznata je činjenica da se zapreminsko modeliranje radnih predmeta zasniva na Bool-ovim operacijama: unija, presek i razlika skupova. Topološki podaci obuhvataju povezivanje entiteta kao što su: tačka (T), ivica (I) i površina (S). Imajući u vidu zahtev da se kutijasti radni predmeti kroz topološke podatke žele i tehnološki prepoznavati i inkrementelno menjati kroz faze procesa izrade, to se kao i kod razvijenih CAD sistema (B-rep) moraju uspostaviti relacije između ivica i temena, zatim između susjednih ivica, ivica i petlji i konačno između strana i petlji pri čemu je samo jedna granična a druge su unutrašnje. Model povezivanja ovih entiteta je poznat kao model krilaste ivice.

Zahtevi za iznalaženjem efikasnijih sistema za modeliranje koji predpostavljaju intenzivnu izmenu internog modela i kroz proces projektovanja tehnološkog procesa izrade doveo je do proširenog modela krilaste ivice, sl. 7.

U ovom modelu strukture podataka pored pomenutih relacija uspostavljaju se i veze između petlji (P) i ivica i temena i ivica. Na bazi ovakvog modela podataka moguće je graditi efikasnije algoritme za izvođenje Boolovih operacija što će omogućiti ink\_



Sl. 7. Prošireni model krilaste ivice

rementalno menjanje modela radnog predmeta u nekom "realnom" vremenu saglasno redosledu izvodjenja operacija.

#### ZAKLJUČNE NAPOMENE

Na ograničenom prostoru dat je pokušaj prikaza nekih aspekata izgradnje ekspertnog sistema za projektovanje tehnologije izrade kutijastih radnih predmeta. Zasnivajući model sistema na intenzivnoj interakciji korisnika sa geometrijskim modelom, bazom znanja i bazom podataka, dati su prikazi nekih problema tehnološkog prepoznavanja i odgovarajućih struktura podataka. Dosađanja istraživanja su pokazala da se efikasni CAD/CAM sistemi mogu graditi samo na takvim strukturama podataka koje uključuju i bazu znanja što neminovno zahteva i primenu veštačke i inteligencije u izgradnji istih.

#### L I T E R A T U R A

- [1] Sohlenius G., Kjellberg T., "Artificial Intelligence and its Potential use in the Manufacturing System", Annals of the CIRP, Vol 135/2, 1986.
- [2] Srinivasan R., C.R.Liu, "On Some Important Geometric Issues in Generative Process Planning", WAM ASME Proceedings" Intelligent and Integrated Manufacturing Analysis and Synthesis, Pred. Vol 25, Boston, 1987.
- [3] Brooks L.S., Hummel E.K., Wolf L.M: XCUT - A Rule-Based Expert System for the Automated Process Planning of Machined Parts", WAM ASME Proceedings, Intelligent and Integrated Manufacturing Analysis and Synthesis", Pred. Vol 25. Boston 1987.



- 4 Bojanić P., Milačić V., "Prilog razvoju ekspertnog sistema za projektovanje i izradu modela za lična zaštitna sredstva", 8. jugoslovenski simpozijum "CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala", Cavtat, 1989.
- 5 Bond H.A., Melkanoff M., "Automatic Extraction of Geometric Features from CAD Models", 2 nd International Summer Seminar "Intelligent Manufacturing Systems", Dubrovnik, 1987.
- 6 Imamura S., Kojima T., Sekiguchi H., Inoue K., "A Study on the Object Oriented Product Model-Representation of Geometry and Dimension", Annals of the CIRP, Vol.37, 1988.
- 7 Bojanić P., "Neki aspekti razmatranja strukture podataka u CAD/CAM sistemima; 2. jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, Cavtat 1989.

P. Bojanić

SOME ASPECTS OF BUILDING OF  
EXPERT SYSTEMS FOR BOX-LIKE  
PARTS MANUFACTURING

#### S U M M A R Y

Building of expert systems for box-like parts manufacturing requires geometrical and topological data of work-piece. By using CAD system data base it is possible through technological recognition to make a choice of machines, plan of operations and tools by means of data base and knowledge base. Technological recognition basis and data structure as a basis of the whole system are presented in the paper.

Lj.Lukić, D.Polajnar\*

LOLA-Cut SISTEM ZA AUTOMATIZACIJU PROJEKTOVANJA  
PROCESA REZANJA U FPS

1. UVOD

Između konvencionalne proizvodnje i proizvodnje u fleksibilnom proizvodnom sistemu (FPS-u) postoje značajne razlike sa organizacionog, upravljačkog, tehničkog a naročito tehnološkog stanovišta. Te razlike zahtevaju definisanje novih kriterijuma i posebnih ograničenja za realizaciju fleksibilne proizvodnje, koja je okarakterisana:

- obradnim sistemima unutar FPS-a,
- asortimanom i serijom obradaka i
- vremenom potrebnim za izradu.

Proizvodnja se realizuje na obradnim sistemima integrisanim u FPS kroz elementarne tehnološke operacije. Operaciju na obradku izvršava alat svojim glavnim i pomoćnim kretanjima, u vremenu automatskog postavljanja u glavno vreme sve do njegovog ponovnog vraćanja u magacin obradnog sistema. Time se ostvaruje samo jedan od zadatih elementarnih geometrijskih oblika na obradku. Zbog toga se tehnološka analiza sprovodi dekomponovanjem grupe obradaka za obradu u FPS-u po stezanjima, stranama za obradu, površinama i operacijama kao osnovnim radnjama proizvodnog ciklusa.

Pored obradnog sistema, alata, vrste obrade, operaciju definišu još i ulazno - izlazne geometrijske veličine vezane za obradak i režimski parametri procesa rezanja. Ovakav način definisanja elementarne tehnološke operacije omogućuju funkcionalne zavisnosti uspostavljene na bazi istraživačkih rezultata verifikovanih u praksi. Funkcionalne zavisnosti predstavljaju osnov za optimizaciju i projektovanje obradnih procesa na nivou operacije. Kada se završi definisanje svih potrebnih operacija u zadanom asortimanu obradaka, formira se

---

\*/ Doc.dr Ljubomir Lukić, dipl.ing.maš., naučni saradnik, mr Desanka Polajnar, dipl.ing.el., savetnik LOLA Instituta, 11030 Beograd, Kneza Višeslava 70A

tabela generisanih tehnoloških parametara. U toj tabeli se iskazuju proceduralne zavisnosti, na osnovu kojih se u automatskom postupku dolazi do optimalne tehnološke arhitekture za realizaciju fleksibilne proizvodnje u potrebnom vremenu.

Odredjivanje optimalne tehnološke varijante prema svim zahtevima proizvodnje u FPS-u je veoma složen i težak zadatak, koji se ne može rešiti tradicionalnim metodama projektovanja tehnologije. Zbog toga se u Industriji Ivo Lola Ribar razvija programski sistem LOLA-Cut, koji omogućava automatsko projektovanje obradnih procesa skidanjem strugotine. Osnovu sistema čini interaktivni simulacioni model za višeparametarsku optimizaciju procesa rezanja, zasnovan na integriranoj tehnološkoj bazi podataka. Načinom organizovanja i pristupa podacima u tehnološkoj bazi implementirana je zavisnost medju glavnim funkcijama obradljivosti. Medjuoperacijska proceduralna zavisnost iskazana je u algoritamskom delu modela. Izlazni podaci LOLA-Cut-a koriste se u procesu izrade NC-programa, pripreme setova alata, paleta i obradaka, kao i u procesu planiranja fleksibilne proizvodnje.

Programski sistem LOLA-Cut je implementiran na ORACLE relacionoj bazi podataka, pod MS DOS operativnim sistemom i u C programskom jeziku.

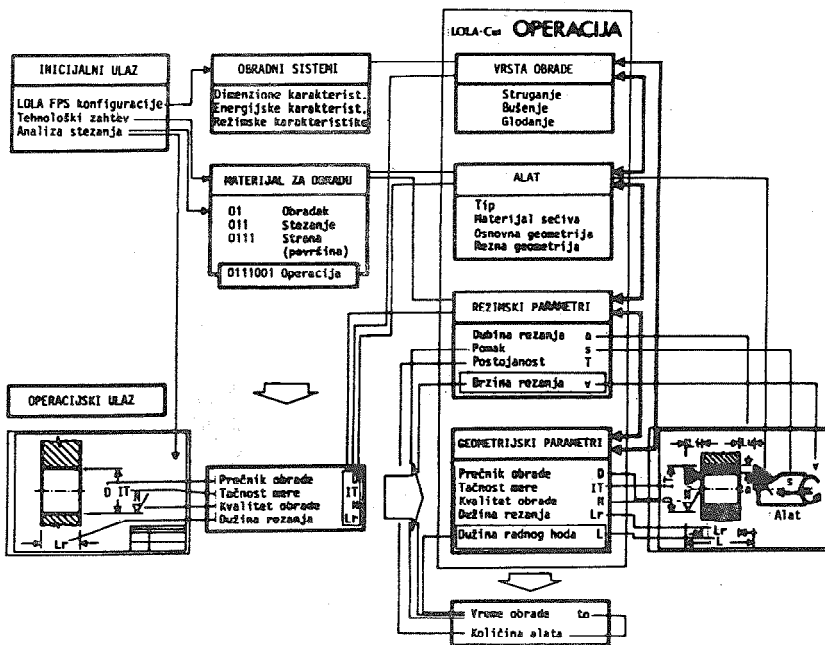
## 2. LOLA-Cut METOD ZA DEFINISANJE FUNKCIONALNIH ZAVISNOSTI U OBRADNIM PROCESIMA

Tehnološkim zahtevom definiše se asortiman, serija i materijal obradaka koje treba obraditi u zadatom vremenu na odredjenim tipovima obradnih sistema ili na odredjenoj konfiguraciji FPS-a. To je inicijalni ulaz prvog nivoa u osnovni LOLA-Cut algoritam, zajedno sa shemom dekomponovanja obradaka na strane i površine za obradu po stezanjima. Na drugom nivou postoji operacijski ulaz, na osnovu koga se uspostavljaju funkcionalne zavisnosti u procesu rezanja. Ovim ulazom se zadaju izlazne geometrijske veličine i karakteristike kvaliteta obrade koje treba ostvariti operacijom, a to su one veličine koje su definisane na konstrukciono - radioničkom crtežu radnog predmeta. To je sasvim dovoljno za LOLA-Cut algoritam (sl.1).

Specifikacijom tehnoloških zahteva i opštih uslova rada FPS-a na početku interaktivnog dijaloga definišu se granične veličine i elementi koji imaju glavni uticaj na funkcije cilja pri odredjivanju optimalnih tehnoloških parametara u obradnim procesima, sve do kraja dijaloga. Zbog toga se svaka elementarna tehnološka operacija definiše na osnovu sopstvenog operacijskog ulaza,

kao na primeru obrade otvora:

- prečnik obrade,
- tačnost mere (tolerancija),
- kvalitet obrade i
- dužina rezanja.



S1.1 Funkcionalna zavisnost atributa koji definišu operaciju u LOLA-Cut sistemu

Za potpuno definisanu operaciju u LOLA-Cut sistemu se određuje:

- vrsta obrade (struganje, bušenje, glodanje),
- alat (tip, materijal sečiva, osnovna geometrija, rezna geometrija, komplet - nosači, nastavci, reducirani, pribori itd.),
- režimski parametri (dubina rezanja, pomak, postojanost alata, brzina rezanja) i
- geometrijski parametri (svi parametri prema operacijskom ulazu, dužina radnog hoda alata).

U sadašnjoj verziji programskog sistema vrstu obrade određuje kori-

snik, jer se na obradnim centrima jedna operacija može realizovati različitim vrstama obrade. LOLA-Cut korisniku prezentira asortiman alata kojim će uspešno izvršiti sve tehnološke zahteve vezane za izabranu vrstu obrade i operaciju. Pored osnovnih podataka, daju se i druge informacije za svaki tip alata (proizvodjač, cena, režimska ograničenja, veza sa priborom i sl.) koje mogu značajno uticati na izbor i opredeljenje korisnika.

U zavisnosti od vrste obrade, izabranog alata i tehnoloških zahteva odredjuju se režimski parametri obradnog procesa. Korisniku se prikazuju intervali vrednosti u kojima može izabrati dubinu rezanja, pomak i postojanost alata. Intervali za izbor režima rezanja su definisani prema funkcionalnim zavisnostima uspostavljenim unutar operacije u LOLA-Cut sistemu. Svaki izbor omogućuje ostvarenje karakteristika kvaliteta obrade ali sa različitim pokazateljima produktivnosti i ekonomičnosti. Definisanjem dubine rezanja, pomaka i postojanosti alata automatski se odredjuje brzina rezanja, odn. broj obrtaja glavnog vretena.

Na osnovu geometrijskih karakteristika alata izabranog za operaciju, tehnoloških specifičnosti vrste obrade koja se izvodi i potrebne dužine rezanja, automatski se odredjuje dužina radnog hoda alata. Ona se sastoji od dužine potrebne za ulaz alata u zahvat, dužine rezanja i dužine predviđene za izlaz alata iz zahvata. Time su definisani svi elementi koji karakterišu operaciju u LOLA-Cut sistemu. Na osnovu tih elemenata automatski se odredjuje vreme rezanja i definiše potrošnja alata u operaciji. Pošto je poznata i dužina radnog hoda odredjuje se i tehnološko vreme obrade po operaciji. Količina alata i vreme obrade predstavljaju izlazne pokazatelje ekonomičnosti i produktivnosti rezanja izabranim alatom i izabranim režimskim parametrima, radi ostvarenja svih tehnoloških zahteva u operaciji. Ukoliko vreme obrade i potrošnja alata ne zadovoljavaju postavljene uslove u prvom izboru, mora se ići na naredni izbor alata unutar definisanog asortimana i/ili na izbor drugih režimskih parametara unutar datih graničnih vrednosti. Tek kada se zadovolje uspostavljeni kriterijumi, završava se procedura na nivou jedne operacije.

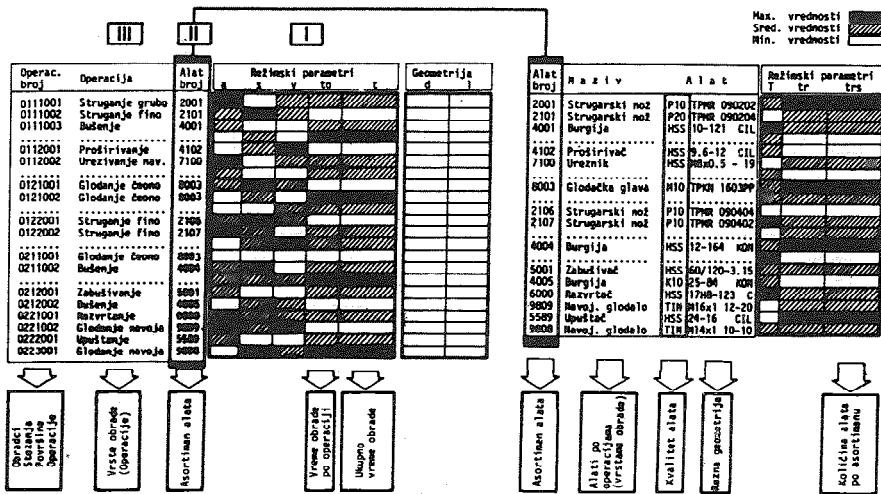
U svim narednim operacijama na istoj strani za obradu, unutar istog stezanja, istog obradka i grupe delova koji se istovremeno obradjuju u FPS-u, definisu se funkcionalne zavisnosti prema istoj metodologiji.

### 3. AUTOMATSKO GENERISANJE TEHNOLOŠKIH PARAMETARA ZA REALIZACIJU FLEKSIBILNE PROIZVODNJE U OKVIRU ZADATIH OGRANIČENJA

Automatskim administriranjem podataka i veličina definisanih na osnovu

funkcionalnih zavisnosti u svim operacijama kroz koje se realizuje fleksibilna proizvodnja, formira se tabela generisanih tehnoloških parametara. U fazi projektovanja obradnih procesa na nivou operacije ne iskazuju se zavisnosti i uticaji koji proističu od predhodnih i narednih operacija iz tehnološkog redosleda za obradu jednog stezanja. Te proceduralne zavisnosti sagledavaju se jedino u tabeli generisanih tehnoloških parametara (sl.2). Ona se sastoji od dve pod-tabele. U prvjoj su uspostavljene veze operacija sa:

- obradcima, stezanjima, stranama, površinama,
- alatima
- režimskim parametrima,
- vremenskim parametrima obrade u odnosu na jednu operaciju i proizvodnu seriju i
- osnovnim geometrijskim parametrima.



Sl.2 Tabela generisanih tehnoloških parametara

Na osnovu veze alata i operacije koju izvršava, u drugoj podtabeli je definisan kompletan sistem alata potreban da obavi obradu grupe delova u definisanim režimskim uslovima. Sistem alata je opisan: asortimanom, materijalom sečiva, osnovnom geometrijom, reznom geometrijom i potrebnom količinom za operaciju, stezanje i seriju.

Pretraživanjem table generisanih tehnoloških parametara dolazi se do

važnih saznanja vezanih za kompletnu fleksibilnu proizvodnju grupe delova. Broj različitih stezanja odgovara broju NC-programa, a broj svih stezanja odgovara broju izmena paleta. Strana za obradu se postavlja zaokretanjem radnog stola, a broj operacija odgovara broju automatskih izmena alata. Vremena potrebna za sve ove radnje su poznata, pa se lako definiše ukupno vreme obrade grupe delova u FPS-u. Ovo vreme je, nakon formiranja tabele generisanih tehnoloških parametara po pravilu različito od vremena predviđenog za izradu, tj. od vremena zadatog inicijalnim ulazom.

Ukoliko je vreme obrade manje od predviđenog, znači da su neopravdano izabrani visokokvalitetni alati i definisani visoki nivoi režima obrade. Ukupno vreme obrade može biti i veće od predviđenog, što ukazuje na potrebu izbora kvalitetnijeg alata ili pooštavanja režimskog kriterijuma. U oba slučaja mora se intervenisati u smislu približenja zadatom vremenu obrade.

Svojstva tabele generisanih tehnoloških parametara, omogućuju da se automatski jednim korakom izvrše višeparametarske korekcije, kako bi se došlo do obradnih procesa koji omogućuju fleksibilnu proizvodnju u zadatim uslovima. To se postiže najpre promenama režimske slike fleksibilne proizvodnje (I), izmenama kvaliteta prvobitno odabranih alata (II) i na kraju promenama odabranih vrsta obrade (III)(sl.2).

Pri tome korisnik najpre definiše tehnološki prostor unutar koga sprovodi korekcije. To može učiniti prema:

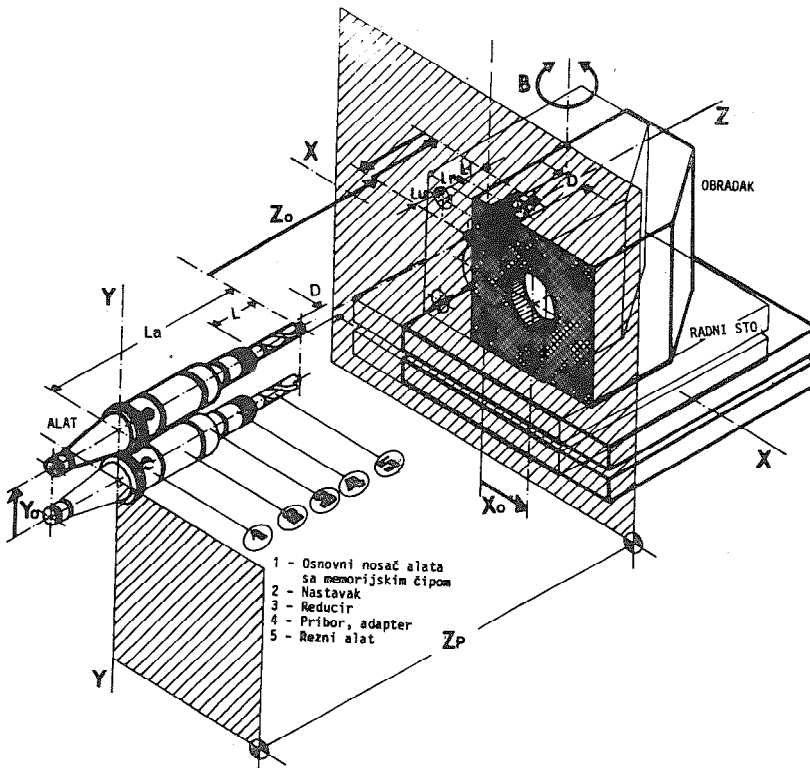
- shemi dekomponovanja obradaka (obradcima, stezanjima, stranama za obradu ili generalno),
- vrstama obrade i operacijama (nazivima, geometrijskim veličinama),
- tipovima alata i njihovim karakteristikama.

Tabela generisanih tehnoloških parametara formirana prvim izborom, automatskom optimizacionom procedurom LOLA-Cut sistema se analizira, adaptira i dovodi u stanje sasvim novog sadržaja zadržavajući pri tome sve funkcionalne i proceduralne zavisnosti. Samo tako definisani tehnološki parametri i veličine omogućuju realizaciju fleksibilne proizvodnje prema svim tehnološkim zahtevima, postavljenim uslovima i ograničenjima.

#### 4. TABELA GENERISANIH PARAMETARA INTEGRISANA U UPRAVLJAČKI SISTEM FPS

Rezultatima LOLA-Cut sistema definiše se proizvodna tehnologija sa alatima i svim elementima režima rezanja za obradu grupe delova u FPS-u. Time su

definisane i osnovne veličine sa ulazima u programski sistem za simulaciju LOLA-Sim. Rezultati sintetizovani u tabeli generisanih tehnoloških parametara u potpunosti se koriste pri izradi NC-programa. Redosled operacija, alati i njihova geometrija, kinematika rezanja - glavna i pomoćna kretanja, rastojanja za ulaz alata u zahvat i izlaz iz zahvata su podaci koje definiše programski sistem LOLA-Cut, a neophodni su za automatsko generisanje NC-koda (sl.3). Preostaje odredjivanje brzog hoda prema postojećim elementima, kojim alat iz nultog dolazi u radni položaj da bi izvršio operaciju u poziciji  $(X_0, Y_0, Z_0)$ . Time se zadovoljavaju svi tehnološki uslovi za definisanje G-funkcija i za generisanje NC-koda.



Sl.3 Izlazni podaci LOLA-Cut sistema u automatskom generisanju NC-koda

NC-programima za obradu grupe delova, integriše se tabela generisanih tehnoloških parametara u CNC sisteme, kao prvi nivo upravljanja FPS-a. Celijski kontroler, kao drugi upravljački nivo FPS-a zasniva svoju funkciju takodje na



rezultatima proizašlim iz tabele. Pošto obrada svakog stezanja počinje i završava izmenom palete i obradka, vreme obrade po stezanjima je glavna veličina u planiranju fleksibilne proizvodnje i optimizaciji transportnih procesa. Vreme obrade po operacijama diktira dinamiku izmena alata, njegovog transporta i pripreme.

Pored ovih osnovnih, i niz drugih tehnoloških parametara ulazi u upravljački algoritam ćelijskog kontrolera. U tabeli su generisani svi tehnološki parametri neophodni da se planira, organizuje, realizuje i upravlja potpuno automatizovana fleksibilna proizvodnja grupe delova prema postavljenim tehnološkim zahtevima i drugim uslovima. To je bio krajnji cilj a polazno opredeljenje pri definisanju funkcionalnog koncepta i glavnog algoritma programskog sistema LOLA-Cut.

#### 5. ZAKLJUČAK

Programskim sistemom LOLA-Cut automatizuje se projektovanje obradnih procesa skidanjem strugotine. Veoma obimna tehnološka baza podataka i znanja, sa funkcionalnim i logičkim vezama, integrisana je u glavni algoritam LOLA Cut sistema, i omogućuje definisanje optimalne tehnološke varijante za obradu grupe delova u FPS-u.

Vreme potrebno za izradu definisanog asortimana delova, na određenoj konfiguraciji FPS-a je bazni kriterijum u projektovanju fleksibilne tehnologije primenom LOLA-Cut sistema. Polazeći samo od elemenata i veličina definisanih na konstrukciono - radioničkim crtežima delova, dolazi se do svih tehnoloških parametara i neophodnih elemenata za generisanje NC-programa i upravljačkih tehnoloških veličina ćelijskog kontrolera FPS-a. To je osnovna karakteristika LOLA-Cut sistema i njegoova značajna prednost u poredjenju sa drugim programskim sistemima iz ove oblasti. LOLA-Cut je originalno rešenje Industrije Ivo Lola Ribar i razvija se u LOLA Institutu.

#### Reference

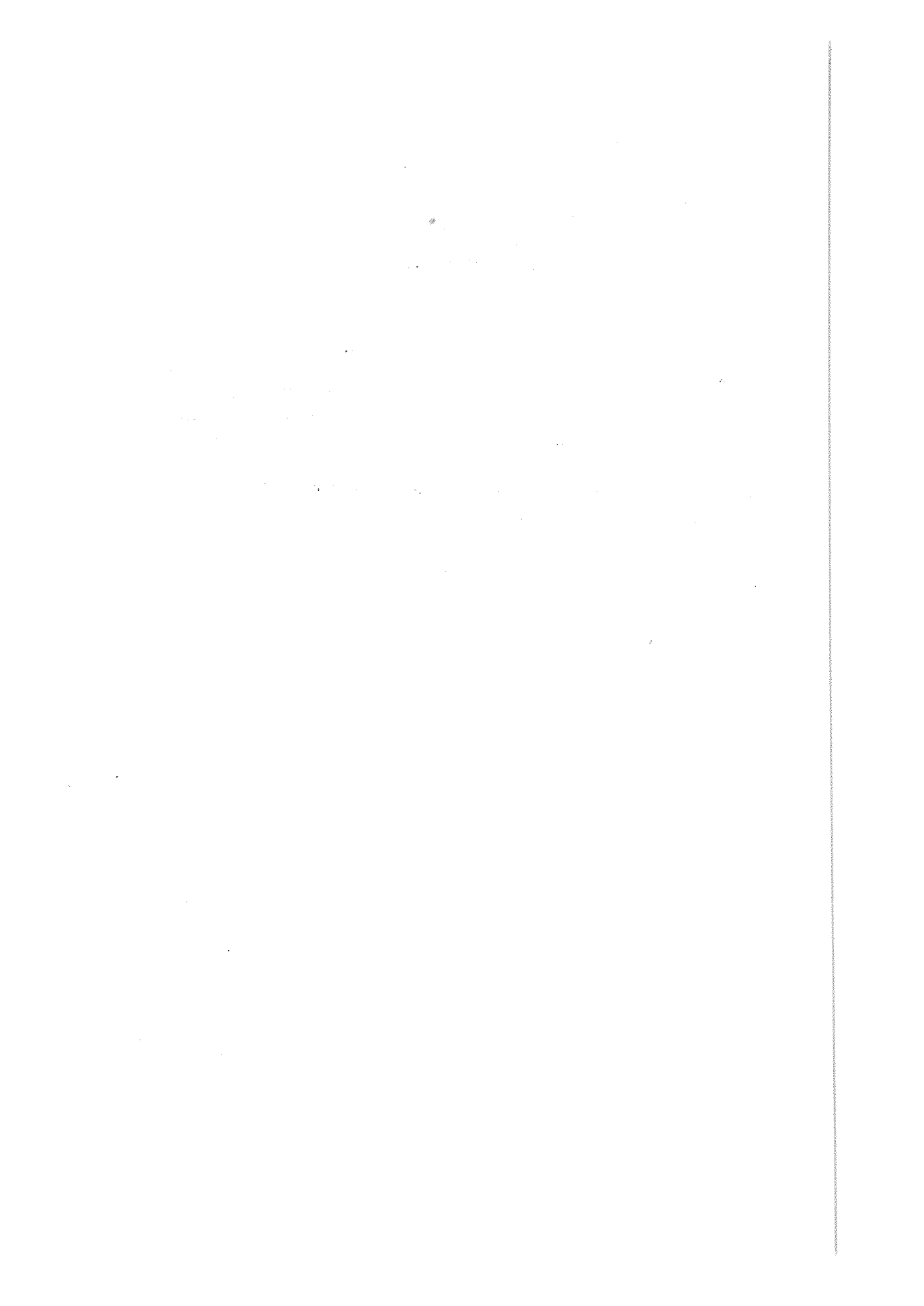
- /1/ Lukić,Lj.,Marelj,D.,Polajnar,D.: Optimizacija obradnih procesa u fleksibilnoj proizvodnji, XXX naučno-stručni skup LOLA, 25.10.1988.,Beograd (1988).
- /2/ Lukić,Lj.,Polajnar,D.,Uzunović,R.: Optimizacija tehnologije obradke rezanjem s pomošću programnog paketa LOLA-Cut, V Meždunarodna konferencija po GPS i voprosam KAD/KAM, g.Rydzya 13.-19.nojabrja 1988.,PNR (1988).
- /3/ Milojević,M.,Uzunović,R.,Bućan,M.,Lukić,Lj.,Pantelić,P.: LOLA - fleksibilne proizvodne tehnologije, XV JUPITER-konferencija, Zbornik radova, Cavtat (1989),str.57-66.

Lj.Lukić, D.Polajnar

LOLA-Cut SYSTEM FOR AUTOMATIC DESIGN OF  
CUTTING PROCESSES FOR FMS TECHNOLOGY

S u m m a r y

LOLA-Cut is program package for the automatic design of cutting process technology. The integration of this program into defferent FMS subsystems is presented. Special consideration has been devoted to the multiparameter optimisation model, which, together with the integrated technological database system is the basis of LOLA-Cut. Model's output is the optimal technological parameters combination satisfying the initially defined manufacturing conditions. These data are further used in FMS process planing and control. LOLA-Cut is under development in LOLA-Institut.



N. Radaković, S. Stankovski

**PRILOG RAZVOJU EKSPERTNOG SISTEMA  
ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOSKIH POSTUPAKA**

**1.0 UVOD**

Projektovanje tehnoloških postupaka uz računarsku podršku (CAPP - Computer Aided Process Planning) počelo je naglo da se razvija poslednjih desetak godina, a moglo bi se reći da je podstaknuto:

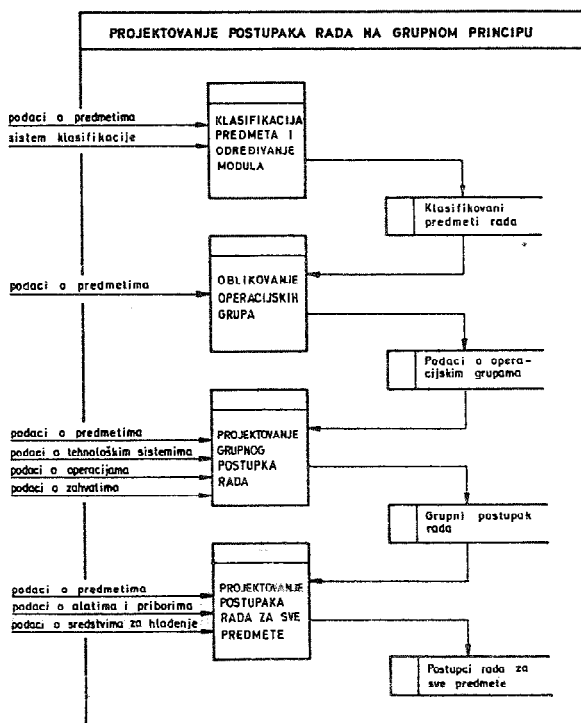
- potrebom da se otklone nedostaci koji se javljaju pri klasičnom ručnom projektovanju tehnoloških postupaka,
- potrebom da se, povezivanjem CAPP-a sa konstruisanjem pomoću računara (CAD - Computer Aided Design) i proizvodnjom pomoću računara (CAM - Computer Aided Manufacturing), ostvari potpuna integracija pripreme proizvodnje.

Sistem za projektovanje tehnoloških postupaka, koji se razvija na Institutu za industrijske sisteme, jedan je od modula sistema za automatizovano projektovanje efektivnih proizvodnih sistema, koji u osnovi ima grupni prilaz u postavljanju tokova materijala. Struktura modela prikazana je blok-dijagramom na slici 1. Kako se može videti, celokupan postupak je podeljen u četiri koraka:

**Korak 1:** Klasifikacija predmeta i oblikovanje modula, u kojem se, na osnovu razvijenog sistema klasifikacije, vrši dodeljivanje klasifikacionog broja svim predmetima, a zatim, na osnovu unetih klasifikacionih brojeva za sve predmete, računar sam vrši oblikovanje MODULA, koje podrazumeva grupisanje predmeta sa potpuno istim klasifikacionim brojem.

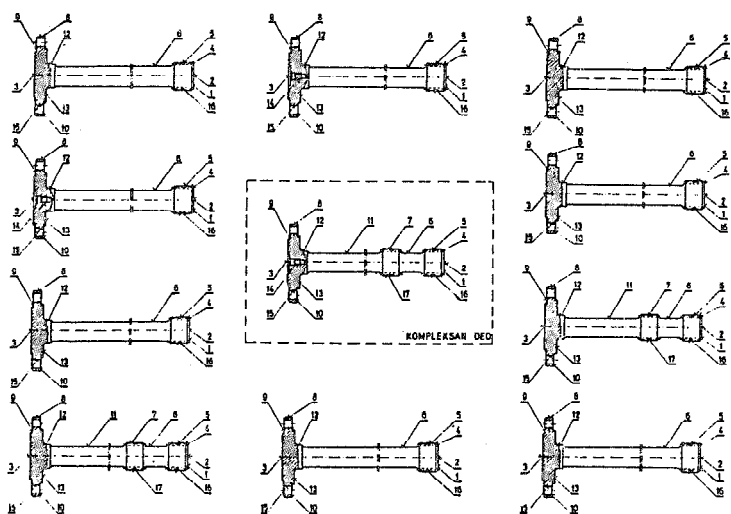
---

\*) Nikola J. Radaković, asistent, Stevan V. Stankovski, asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za industrijske sisteme, Novi Sad, Veljka Vlahovića 3.



Slika 1. Blok dijagram projektovanja tehnoloških postupaka na grupnom principu

**korak 2:** Oblikovanje operacijskih grupa (slika 2), gde se pod **OPERACIJSKOM GRUPOM** podrazumeva grupa sličnih predmeta po obeležjima koje definiše projektant. Dakle, ovde su grupisani predmeti koji se međusobno više razlikuju nego što je to bio slučaj kod modula, ali ta različitost nije tolika da zahteva mnogo drugačiji tehnološki postupak. Postupak oblikovanja operacijskih grupa se vrši na taj način što projektant za svaku operacijsku grupu definiše **PROFIL KLASIFIKACIONOG BROJA**, a računar pokupi sve predmete koji zadovoljavaju taj profil.



Slika 2. Primer jedne operacijske grupe

**Korak 3:** Projektovanje grupnog tehnološkog postupaka, u kojem se vrši projektovanje tehnološkog postupka koji važi za celu operacijsku grupu. Pri tome se najpre vrši određivanje PREDSTAVNIKA OPERACIJSKE GRUPE, pod kojim se podrazumeva realan ili uslovan predmet koji u svojoj strukturi površina sadrži sve elementarne površine svih predmeta unutar operacijske grupe. Ovakav predstavnik se naziva i KOMPLEKSNI DELOM. Nakon toga se vrši projektovanje tehnološkog postupka za kompleksan deo koji istovremeno predstavlja i GRUPNI TEHNOLOŠKI POSTUPAK za operacijsku grupu. U rezultatu se dobija:

- struktura celokupnog tehnološkog postupka, odnosno vrsta operacija u okviru postupka i redosled njihovog izvođenja (PROCESS PLAN),
- struktura pojedinih operacija, odnosno vrsta i redosled zahvata u operaciji (OPERATION PLAN).

**Korak 4:** Projektovanje tehnološkog postupka za sve predmete, koje obuhvata određivanje svih podataka potrebnih za potpuno definisanje načina izrade svakog predmeta, a izvodi se na

osnovu grupnog tehnološkog postupka. Ono obuhvata:

- određivanje strukture celokupnog tehnološkog postupka izrade realnog dela, odnosno redosleda operacija i zahvata, pri čemu projektantu stoji na raspolaganju tehnološki postupak za kompleksan deo, tako da je on u mogućnosti da, upoređenjem elementarnih površina na realnom i kompleksnom delu, utvrdi potrebne operacije i zahvate; takođe, određivanjem potrebnih operacija, određena su i radna mesta za izvođenje operacija;
- određivanje elemenata za izvođenje operacija, koje podrazumeva: određivanje potrebnih alata i pribora, elemenata režima rada, vremena za pojedine zahvate i celu operaciju.

Na Institutu za industrijske sisteme radi se na potpunom zaokruženju sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških postupaka na principu grupisanja, sa opisanim postupkom u četiri koraka. Trenutno, u potpunosti su realizovana prva dva koraka, treći korak je u fazi završnog proveravanja, a četvrti korak u začetku. U ovom radu dat je opis trećeg koraka u kojem su korišćeni elementi veštačke inteligencije.

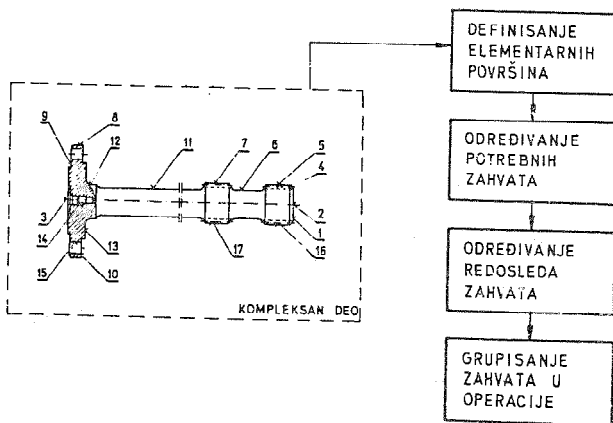
## **2.0 PRIKAZ EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE GRUPNOG TEHNOLOŠKOG POSTUPKA**

Projektovanje grupnog tehnološkog postupka, kako je već navedeno, obuhvata određivanje onih elemenata koji su zajednički za celu operacijsku grupu. Projektuje se za kompleksan deo, a u rezultatu daje redosled operacija u celokupnom tehnološkom postupku (Process Plan) i redosled zahvata u operacijama (Operation Plan). Projektovanje grupnog tehnološkog postupka izvodi se prema postupku prikazanom na slici 3. U nastavku je dat opis pojedinih koraka koji se pri tome izvode.

### **\* Definisanje elementarnih površina**

U ovom koraku se za predmet, u ovom slučaju kompleksni deo, definišu elementarne površine u obliku:

predmet XX (površina 1, površina 2, . . . , površina n),



Slika 3. Postupak određivanja grupnog tehnološkog postupka

pri čemu je svaka elementarna površina definisana preko određenih obeležja:

površina XX (tip površine, kvalitet, posebni zahtevi).

U konkretnom primeru kompleksni deo sadrži ukupno 17 elementarnih površina, označenih od 1 do 17, prema narednoj tabeli:

Broj	Tip površine	Kvalitet	Posebni zahtevi
1	Obrtna čelna površina	N10	Bez posebnih zahteva
2	Središnje gnezdo	N8	Bez posebnih zahteva
17	Ozubljena površina	N8	Indukciono kaljeno



\* Određivanje potrebnih zahvata za obradu elementarnih površina

U ovom koraku se za svaku elementarnu površinu određuju potrebni zahvati obrade, zavisno od toga kakva su obeležja kod pojedinih površina. Potrebne zahvate određuje sam računar na osnovu prethodno unetih pravila kojima su definisane veze:

**elementarna površina (potrebni zahvati)**

Pravila su unapred uneta od strane tehnologa-eksperta u obliku:

**AKO** je površina "takva i takva"

**ONDA** su potrebni zahvati "takvi i takvi".

Na taj način su za sve elementarne površine određeni potrebni zahvati kao u narednoj tabeli:

POVRŠINA	POTREBNI ZAHVATI
1	Odsecanje (1P) i Poravnavanje (1Z)
2	Zabušivanje gnezda (2Z)
17	Izrada zuba kovanjem (17P) i Indukciono kaljenje (17)

\* Određivanje redosleda zahvata

Zahvati, utvrđeni za obradu pojedinih površina, moraju se postaviti u logičan redosled i to takav koji će obezbediti obradu svih površina i ostvarenje zahtevanih odnosa između njih. u cilju određivanja redosleda zahvata tehnolog-ekspert definiše za sve zahvate redom tzv. prvenstva u izvođenju u obliku:

**Pre zahvata XX moraju se izvesti zahvati YY**

Kako se određuju prvenstva? Postoji više razloga zašto neki zahvat ide pre nekog drugog: zbog ostvarenja dimenzionih ili geometrijskih zahteva (mera ili odnosa površina) ili zbog nekih

tehnoloških ili ekonomskih zahteva /1/.

Na osnovu unetih podataka o prvenstvima, računar utvrđuje jedan ili više mogućih redosleda zahvata i nudi ih tehnologu za dalje razmatranje.

\* Grupisanje zahvata. Definisavanje operacija

Nakon određivanja svih potrebnih zahvata za obradu elementarnih površina i utvrđivanja redosleda njihovog izvođenja, sledeći zadatak je da se odredi koji zahvati se mogu grupisati i izvesti u okviru iste operacije. Osnovni kriterijum pri tome je da se u principu mogu grupisati svi zahvati koji se izvode na istoj mašini i sa istim pozicioniranjem i stezanjem. U posmatranom primeru grupisanje zahvata izvedeno je na sledeći način:

- operacija 1: Odsecanje po površini 1 (zahvat 1Z)
- operacija 2: Poravnavanje površine 1 (1Z) i zabušivanje gnezda 2 i 3 (2Z i 3Z)
- operacija 3: Struganje površine 5 prethodno (5P) i obaranje ivice 4 (4Z)
- operacija 4: Struganje površine 8 (8Z) i površine 9 (9Z)
- operacija 5: Prethodno struganje površina 6 (6P), 7 (7P), 11 (11P), i 12 (12P), prethodno struganje površina 10 (10P) i 13 (13P), poluzavršno struganje površina 5 (5PZ), 7 (7PZ) i 12 (12PZ), završno struganje površina 8 (8Z), 11 (11Z), 10 (10Z) i 13 (13Z)

itd...

Grupisanje zahvata u sadašnjem rešenju vrši sam tehnolog, ali mu u velikoj meri pomaže računar nudenjem redosleda svih zahvata u celokupnom tehnološkom postupku.

### 3.0 ZAKLJUČAK

Modelom ekspertnog sistema koji je prikazan u radu napravljan je pokušaj da se projektantu tehnološkog postupka pomogne u

rešavanju, po mišljenju autora rada, najtežeg problema pri ovom poslu - određivanju strukture celokupnog postupka izrade predmeta, odnosno redosleda operacija i zahvata.

Ekspertni sistem je poslužio kao alat za lakše rešavanje ovog problema, ali je pri tome korišćen grupni pristup koji omogućava da se postigne još jedna korist, a to je da se ovaj najteži deo posla radi jedanput za celu operacijsku grupu, a zatim se to koristi za sve predmete operacijske grupe.

#### 4.0 LITERATURA

/1/ Weill, R.: Survey of Computer Aided Process Planning Spur, G. Systems, Annals of the CIRP, 1982. Volume 31, Eversheim, W. Number 2.

/2/ Radaković, N.: Projektovanje postupaka rada uz računarsku podršku, IIS - seminar: Efektivni proizvodni sistemi, Dubrovnik, 1986.

/3/ Meneges G., Hovelmanns N., Bauer E.: Expert System in Production Engineering, Springer-Verlag, 1987.

N. Radaković, S. Stankovski

#### A CONTRIBUTION TO DEVELOPMENT EXPERT SYSTEM FOR PROCESS PLANNING

##### Summary

This paper presents an approach to development of an expert system intended for process planning. A method for creating of knowledge base and basic procedures for design assigned for defining the structure of technological procedure for producing some work piece (sequence of operations with required suboperations) are shown.

I. Ćosić, D. Milić, S. Stankovski\*)

## PRIOLOG RAZVOJU EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE POSTUPAKA RADA I TEHNOLOŠKIH STRUKTURA U MONTAZI

### 1.0 UVOD

Računarska integracija postupaka projektovanja proizvodnih sistema predstavlja ustvari povezivanje pojedinačno razvijenih segmenata koji se odnose na projektovanje proizvoda, klasifikaciju i oblikovanje operacijskih grupa, projektovanje grupnih tehnoloških postupaka, projektovanje tehnoloških i prostornih struktura sistema i modeliranje i simulaciju proizvodnih procesa. Automatizacija navedenih segmenata je nužan preduslov za razvoj EKSPERTNOG SISTEMA za projektovanje proizvodnih struktura, pri čemu je ekspertni sistem za projektovanje postupaka rada i tehnoloških struktura u montaži jedan od značajnijih delova.

### 2.0 POSTUPAK PROJEKTOVANJA POSTUPAKA RADA U MONTAZI NA GRUPNOM PRINCIPU

Projektovanje postupaka rada u montaži vrši se prema postupku prikazanom na slici 1 i to:

Klasifikacija predmeta montaže, koja se vrši primenom razvijenog sistema klasifikacije

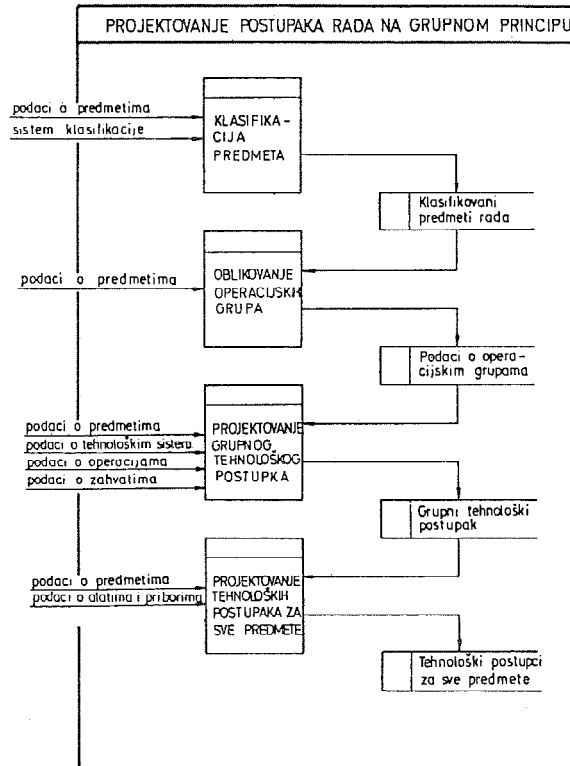
Oblikovanje operacijskih grupa, koja podrazumeva spajanje predmeta montaže sličnih po obliku baznog dela, dimenzijama, vrsti spajanja itd

Projektovanje grupnog tehnološkog postupka za operacijsku grupu, koja se svodi na projektovanje tehnološkog postupka za kompleksni predmet rada, prema sledećem:

---

\*)

Dr Ilija Ćosić, diplom. inženj., vanredni profesor, Dragan Milić, diplom. inženj., asistent, Stevan Stankovski, diplom. inženj., asistent, FTN - Institut za industrijske sisteme, V. Vlahovića 3, Novi Sad



Sl. 1. Postupak za projektovanje tehnoloških postupaka u montaži

Korak 1. Izbor varijante procesa rada

Korak 2. Izbor varijante postupka rada

Korak 3. Određivanje elemenata operacije rada

i izbor varijante tehnološke strukture na osnovu razvijenog opšteg modela tehnoloških struktura u montaži (sl. 2).

Kao rezultat ovakvog načina rada projektovanja dobija se grupni tehnološki postupak za operacijsku grupu (odnosno kompleksni predmet rada operacijske grupe) i niz grupnih tehnoloških karata za sve operacije.

Projektovanje tehnološkog postupka za sve predmete (realne proizvode operacijske grupe), koja se sastoji u:

- utvrđivanju struktura postupaka montaže realnog proizvoda
- određivanju elemenata za izvođenje operacija u okviru postupka montaže realnog proizvoda,

<ul style="list-style-type: none"> <li><math>k_{ser} &lt; 1</math></li> <li><math>\sum_{i=1}^n q_i^{(j)} z_i^{(j)} &lt; K_e</math></li> <li><math>\sum_{i=1}^n q_i^{(j)} z_i^{(j)} &lt; K_e</math></li> </ul>			<p>jednoprotočna jednopolicična</p> <p>jednoprotočna višepolicična</p>	 	
<ul style="list-style-type: none"> <li><math>k_{ser} &gt; 1</math></li> <li><math>\left( \sum_{i=1}^n q_i^{(j)} z_i^{(j)} \right)_{max} &gt; K_e</math></li> <li>na većem delu od z zahvata <math>\sum_{i=1}^n q_i^{(j)} z_i^{(j)} &lt; K_e</math></li> </ul>			<p>višeprotlačna jednopolicična</p> <p>jednoprotočna višepolicična</p>	 	
<ul style="list-style-type: none"> <li><math>k_{ser} &gt; 1</math></li> <li><math>\left( \sum_{i=1}^n q_i^{(j)} z_i^{(j)} \right)_{max} &gt; K_e</math></li> <li>na većem delu od z zahvata <math>\sum_{i=1}^n q_i^{(j)} z_i^{(j)} &gt; K_e</math></li> </ul>			<p>višeprotlačna jednopolicična</p> <p>jednoprotočna višepolicična</p> <p>višeprotlačna višepolicična</p>	 	
<ul style="list-style-type: none"> <li><math>k_{ser} &gt; 1</math></li> <li><math>\left( \sum_{i=1}^n q_i^{(j)} z_i^{(j)} \right)_{min} &gt; K_e</math></li> </ul>			višeprotlačna višepolicična		

Sl. 2. Opšti model tehnoloških struktura u montaži

što u rezultatu daje tehnološki postupak za realni proizvod i niz tehnoloških karata za sve operacije iz tehnološkog postupka.

### 3.0 AUTOMATIZOVANI POSTUPAK ZA PROJEKTOVANJE GRUPNOG TEHNOLOŠKOG POSTUPKA U MONTAŽI (APOTEP-M)

Kako je napred rečeno postupak projektovanja tehnološkog postupka montaže za operacijsku grupu, odnosno tehnološkog postupka za kompleksni proizvod, se izvodi u tri koraka, kako je to prikazano blok dijagramom na slici 3. Imajući u vidu da projektovanje grupnog tehnološkog postupka montaže prema navedenoj metodologiji na klasičan način zahteva relativno mnogo vremena i da je bazirano na subjektivnosti, znanju i iskustvu projektanta - tehnologa, što je uzrok tome da se postupci rada za isti ili sličan predmet montaže kod različitih tehnologa veoma razlikuju, nameće se potreba uvođenja računara u proces projektovanja postupaka rada u montaži. Projektovanje postupaka rada primenom računara (CAPP), tehnološke informacije potrebne za proizvodnju predmeta u CAM (proizvodnja uz pomoć računara) pridružuje geometrijskim informacijama iz CAD (projektovanje proizvoda primenom računara) i omogućava stvaranje integralnog sistema CAD/CAPP/CAM. Na datim osnovama je na IIS<sup>\*)</sup> sisteme izvršena automatizacija postupka projektovanja tehnoloških postupaka

<sup>\*)</sup> IIS - Institut za industrijske sisteme



montaže, pri čemu je korišćen programski paket APOTEP-M prilagođen za rad na PC. Algoritam osnovnog programa je prikazan na slici 4, dok je algoritam za izračunavanja vremena trajanja zahvata i izbor optimalne varijante tehnoloških struktura dat na slici 5.

#### 4.0 PODLOGE ZA RAZVOJ EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE

##### POSTUPAKA RADA I TEHNOLOŠKIH STRUKTURA U MONTAŽI

Pri projektovanju novih postupaka rada i tehnoloških struktura u montaži neophodno je imati znanja i iskustva koja se nisu dostupna svakom tehnologu - projektantu. Sve to objedinjeno, i to ne samo od jednog stručnjaka, može se naći u ekspertnom sistemu. Ekspertni sistem se može definisati kao računarski sistem koji može da reši (predloži rešenje) problem(a) koristeći ljudsko znanje kao i znanje sadržano u samom sistemu opreme. Ekspertni sistem se u osnovi sastoji iz tri dela:

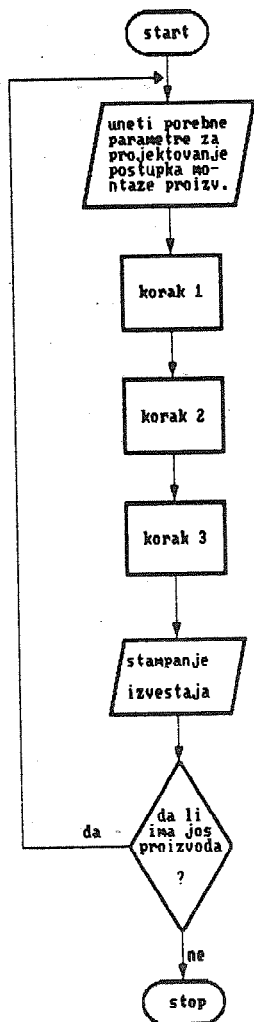
- baze znanja, u kojoj je smešteno znanje, činjenice i pravila koja opisuju veze, kao i iskustva i ideje za rešavanje problema za oblast primene ekspertnog sistema
- mehanizma zaključivanja, koji treba da obezbedi:
  - najefikasniji način za korišćenje baze znanja
  - svojim načinom rada pomogne korisniku pri korišćenju ekspertnog sistema
  - odgovore na korisnikova pitanja
  - pokaže kako je došao do rešenja
- sprega sa korisnikom, koja treba da omogući jednostavno i lako komuniciranje između korisnika i ekspertnog sistema.

Mehanizam zaključivanja i sprega sa korisnikom su nezavisni od sadržaja baze znanja, ako se to znanje beleži na isti način, pa se oni često nazivaju ljuskom ekspertnog sistema. Zbog toga je omogućeno da se ljuske ekspertnih sistema prave nezavisno, prilagodene različitim načinima predstavljanja znanja. Na IIS je razvijena ljuska ekspertnih sistema IS-08 (ESIS-08) koja radi sa znanjem koje je predstavljeno u vidu produkcionih pravila. Produkciona pravila imaju sledeći oblik:

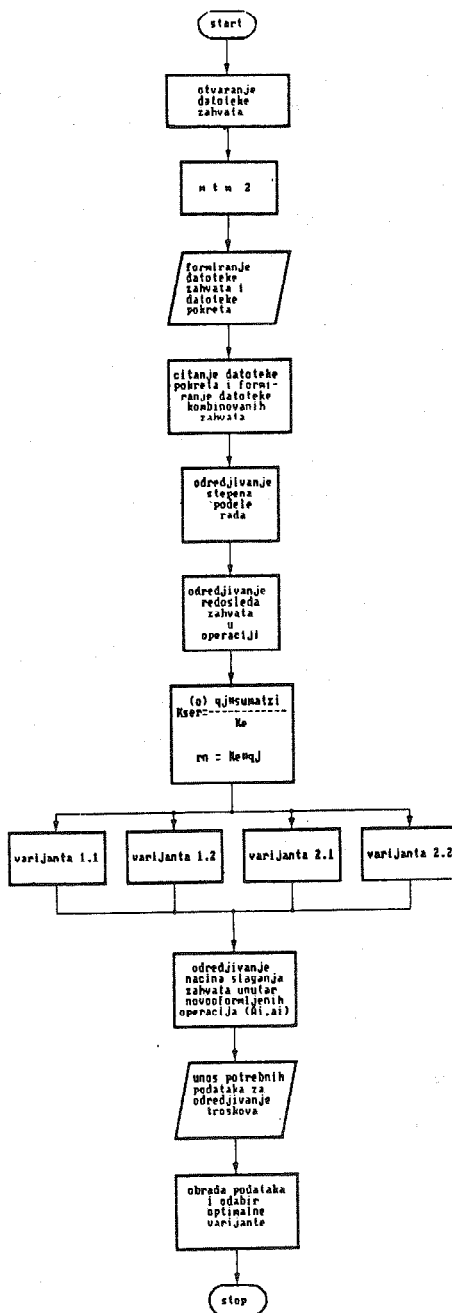
pravilo: AKO uslov(1) ONDA zaključak (akcija).

Ekspertni sistem radi tako što pokušava da zadovolji uslove iz pravila koje analizira. Ukoliko pronađe pravilo gde su zadovoljeni svi uslovi, izvodi se zaključak, ili sprovodi određena akcija. Ukoliko ni jedno pravilo nije u potpunosti zadovoljeno, onda se izvodi mogući zaključak na osnovu dotadašnjih ispitivanja, ako postoje uslovi za to. Na osnovu automatizovanih postupaka za





Sl. 4 Algoritam osnovnog programa



Sl. 5 Algoritam podprograma za izračunavanje vremena trajanja zahvata i za izbor optimalne varijante tehnološke strukture u montaži

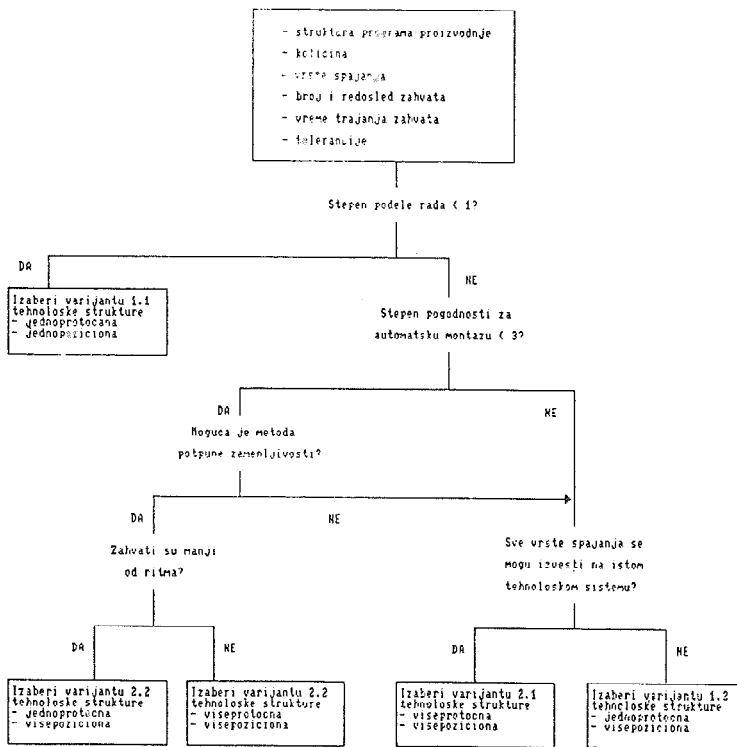
projektovanje tehnološkog postupka u montaži, rezultata primene MTM sistema i razvijenog opšteg modela tehnoloških struktura u montaži dobijaju se informacije na osnovu kojih treba izabrati odgovarajuću tehnološku strukturu varijante postupka rada. Na slici 6 je prikazano stablo odlučivanja sa kojeg se vide uslovi izbora određene tehnološke strukture i varijante postupka rada. Te uslove možemo zapisati i u vidu produkcionih pravila, tako da ih iskoristi ESIS-08. Neka od pravila bi glasila:

pravilo1: AKO

stepen podele rada < 1

ONDA

izaberi varijantu 1.1 tehnološke strukture



Sl. 6 Stablo odlučivanja za izbor varijante tehnološke strukture

pravilo2: AKO

NEG\*)

stepen podele rada < 1 I

stepen pogodnosti za automatizovanu montažu < 3 I

moguća metoda potpune zamenljivost I

zahvati manji od ritma

ONDA

izaberi varijantu 2.2 tehnološke strukture

(jednoprotočna ili višepoziciona)

\*) NEG označava da je uslov ispunjen ako se odgovori sa NE

## pravilo3: AKO

NEG stepen podele rada < 1 I  
 stepen pogodnosti za automatizovanu montažu < 3 I  
 moguća metoda potpune zamenljivost I  
 NEG zahvati manji od ritma  
 ONDA  
 izaberi varijantu 2.2 tehnološke strukture  
 (višeprotočna ili višepoziciona)

Ovako definisana pravila su samo polazna osnova za razvoj ekspertnog sistema za projektovanje postupaka rada i tehnoloških struktura u montaži. Dalji razvoj ekspertnog sistema bi bio zasnovan na uvrštavanju novih informacija i činjenica na osnovu kojih bi se formirala nova pravila za donošenje odluka. Takođe bi ekspertni sistem trebao da ima mogućnost direktnog komuniciranja sa razvijenim programskim paketima za projektovanje postupaka rada i tehnoloških struktura u montaži i primene MTM sistema.

## 5.0 ZAKLJUČAK

Razvijeni prilaz i postupak automatizacije projektovanja tehnoloških postupaka i struktura u montaži predstavlja dobru podlogu za razvoj ekspertnog sistema u datom području. U tom smislu pored razvijene ljuške ekspertnog sistema ESIS-08 i definisanih osnovnih pravila, potrebno je dopuniti bazu znanja onim pravilima i činjenicama koje će omogućiti izgradnju datog ekspertnog sistema.

## 6.0 LITERATURA

- / 1/ D. Zelenović: Projektovanje proizvodnih sistema, Naučna knjiga, Beograd 1987.
- / 2/ D. Zelenović, I. Ćosić: Tehnološki sistemi u montaži - postupci i strukture, FTN - IIS, Novi Sad 1987.
- / 3/ G. Menges, N. Hovelmanns: Expert Systems in Production Engineering, Spinger-Verlag, 1987.
- / 4/ P. Schnupp, C.T. Nguyen Huu: Expertensystem-Praktikum, Spinger - Verlag, 1987.

I. Ćosić, D. Milić, S. Stankovski

### A CONTRIBUTION TO DEVELOPMENT EXPERT SYSTEM FOR DESIGNING WORK METHODS AND TECHNOLOGICAL STRUCTURES IN ASSEMBLY

The paper presents a development method for designing work procedures and technological structures in assembly which gives, in result of application on certain operating group of products, chosen variant of work procedure and optimal technological structures variant for that method. The emphasis is on automation of given procedure, that is on creation basis for development expert system for designing work methods and technological structures in assembly system according to CIM logic and requirements.

V. Todić, D. Banjac, V. Milošević

## DEFINISANJE GEOMETRIJE ZAHVATA I OPERACIJA U PROGRAMSKOM SISTEMU VASTOPOR

### 1. UVOD

Savremeni obradni i tehnološki sistemi, kao najznačajniji elementi kompetentnosti proizvodnog sistema u metaloprerađivačkoj industriji, zahvaljujući dostignutom nivou razvoja svojih tehničko-tehnoloških performansi, uspešno ispunjavaju zahteve tržišta u pogledu brze i efikasne promene proizvodnog programa, stalnog podizanja kvaliteta, smanjivanja rokova isporuke i konkurentnih cena proizvoda.

Eksploatacija ovih pa i konvencionalnih obradnih i tehnoloških sistema u takvim uslovima zahteva visok nivo kvaliteta rada tehnološke pripreme i organizacije proizvodnje.

Kvalitet rada tehnološke pripreme u savremenim uslovima ogleda se, pre svega, u efikasnom i racionalnom projektovanju kvalitetnih tehnoloških procesa obrade. Takav rad tehnološke pripreme podrazumeva neprekidno usavršavanje i obogaćivanje baze znanja u području tehnologija obrade metala, ali i primenu novih tehnologija u radu tehnološke pripreme.

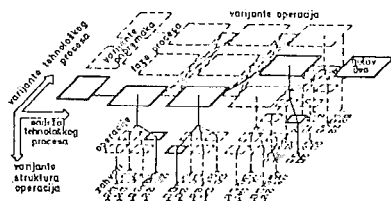
Na taj način stvara se osnovna pretpostavka za efikasno projektovanje optimalnih tehnoloških procesa obrade za nove proizvode i kvalitetniju revitalizaciju postojećih tehnoloških procesa.

Poznato je da se zadatak određivanja najpovoljnijeg rešenja tehnološkog procesa obrade nekog dela za date uslove, u opštem slučaju, svodi na pretraživanje prostora tehnološkog odlučivanja, koji prema slici 1, određuju ose varijanti i sadržaja tehnološkog procesa obrade i osa varijanti struktura operacija. Očigledno je da je taj zadatak kompleksan, te je za njegovo efikasno rešavanje celishodno primeniti odgovarajuće modele i sisteme optimi-

---

*\*) Todić dr Velimir, docent FTN u Novom Sadu, V. Vlahovića 2  
Banjac mr Dragan, predavač FTN u Novom Sadu, V. Vlahovića 2  
Milošević mr Veljko, asistent FSB u Zagrebu*

zacije tehnoloških procesa obrade. Takvi modeli i sistemi treba da omoguće efikasno pretraživanje prostora tehnološkog odlučivanja u svim osama odlučivanja.



Slika 1. Prikaz prostora tehnološkog odlučivanja pri projektovanju tehnoloških procesa [7].

Imajući ovo u vidu, na Institutu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu je, kao rezultat višegodišnjeg istraživačkog rada, razvijen varijantni automatizovani sistem tehnoekonomske optimizacije procesa obrade rezanjem, VASTOPOR sistem [1], koji omogućuje određivanje optimalnog tehnološkog procesa obrade, bez obzira da li se on projektuje po sistemu "korak po korak" ili po sistemu determinističkog odlučivanja.

Ovaj programski sistem optimizacije zasnovan je na pouzdanom broju karakterističnih analitičkih modela optimizacije obradnih procesa i odgovarajućoj sistemskoj podršci [1,2].

Pri tome se ističe da su analitički modeli optimizacije razvijeni kako za slučajeve kada je postojanost alata poznata kao pouzdana funkcija režima obrade, tako i za slučajeve kada je postojanost poznata kao diskretna vrednost sa odgovarajućim skupovima režima obrade.

Sistem je doveden do nivoa aplikativne primene u proizvodnoj praksi, a njegovo uključivanje u neki od razvijenih CAD/CAM sistema učinilo bi ga kvalitetnijim i efikasnijim.

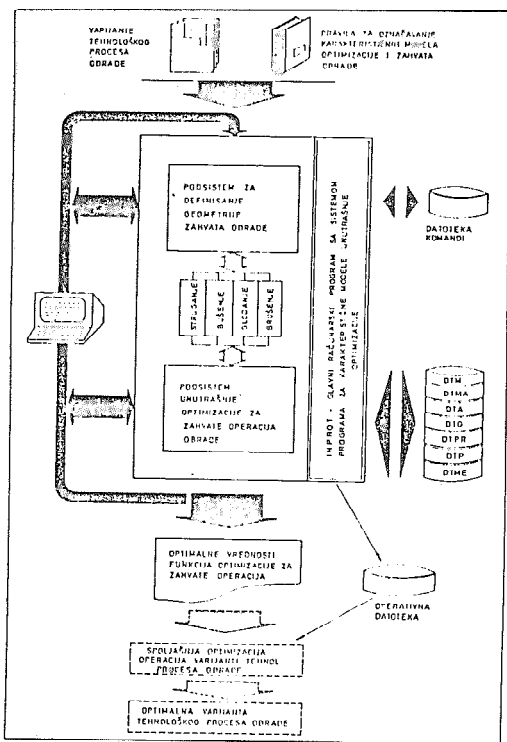
## 2. MODEL PROGRAMSKOG SISTEMA OPTIMIZACIJE

Model razvijenog programskog sistema optimizacije tehnoloških procesa obrade, koji je prikazan na slici 2, obuhvata podsistem za definisanje geometrije zahvata i operacija obrade,<sup>\*)</sup> podsistem unutrašnje optimizacije, sistemsku podršku i glavni računarski program INPROT [1].

Sistemsku podršku čine datoteke podataka za mašine (DTM), materijale (DTMA), alate (DTA), obradljivost (DTO), pribore (DTPR), proizvode (DTP) i merila (DTME).

Informacioni sadržaj ovih datoteka prilagodjen je za rešavanje zadataka

<sup>\*)</sup> Definiisanjem geometrije zahvata definiše se i geometrija operacija obrade.



Slika 2. Model programskog sistema VASTOPOR [1].

optimizacije i projektovanja tehnoloških procesa obrade.

Podsystem za definisanje geometrije zahvata i operacija obrade obezbedjuje definisanje elemenata makrogeometrije, tačnosti obrade i elemenata koji karakterišu stezanje i pozicioniranje obradka u okviru pojedinih operacija tehnološkog procesa. Definisanje geometrije zahvata i operacija, koja se u ovom podsystemu realizuje na interaktivnom principu, isključivo je prilagodjeno za rešavanje zadataka optimizacije obradnih i tehnoloških procesa.

Podsystem unutrašnje optimizacije obuhvata karakteristične modele optimizacije [1, 2] za sistematizovane karakteristične zahvate procesa obrade struganjem, bušenjem, glodanjem i brušenjem.

Ovako postavljen model razvijenog programskog sistema VASTOPOR omogućuje automatizovano odredjivanje optimalnih vrednosti funkcije optimizacije za



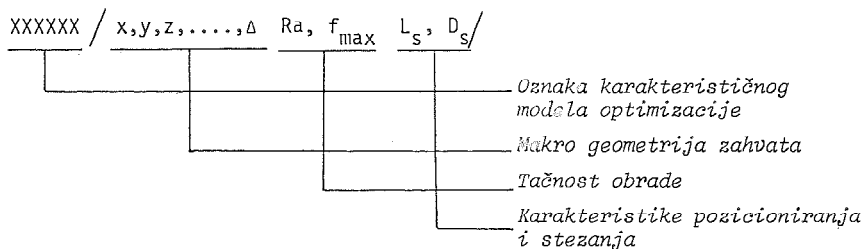
Za slučajeve kada se ovaj programski sistem koristi odvojeno od sistema projektovanja tehnoloških procesa, pozivanje odgovarajućeg karakterističnog modela optimizacije iz podsistema unutrašnje optimizacije vrši se zadavanjem odgovarajuće oznake modela ili zadavanjem koda zahvata obrade [1], jer je u sistemu uspostavljena veza između karakterističnih zahvata obrade i odgovarajućih modela optimizacije.

Interaktivni tok određivanja optimalnih vrednosti funkcija optimizacije za zahvate obrade za prvi slučaj, slika 3, obuhvata definisanje geometrija zahvata obrade, zadavanje adekvatne oznake materijala obradka, iden broja mašine, koda zahvata, izbor alata, zadavanje oblika postojanosti alata, broja zahvata posmatrane operacije, ident broja dela, ident broja specijalnog pribora i merila, koji se koriste u posmatranoj operaciji obrade.

Jedno od najznačajnijih mesta u razvoju automatizacije ovog sistema optimizacije pripada podsistemu za definisanje geometrije zahvata i operacija tehnološkog procesa obrade, o čemu će se u radu dati šire objašnjenje.

#### 4. PODSISTEM ZA DEFINISANJE GEOMETRIJE ZAHVATA I OPERACIJA

U ovom podsistemu, u kome se geometrija zahvata i operacija definiše na interaktivnom principu, uspostavljena je logična tehnološka veza između karakterističnih modela optimizacije i relevantnih elemenata geometrije odgovarajućih zahvata i operacija. Utvrđivanje ovih elemenata geometrije uz pojedine karakteristične modele optimizacije, primena sila 4, bilo je moguće na osnovu detaljne analize sistematizovanih i kodiranih zahvata obrade za četiri pomenuta obradne procesa i njihovog grupisanja prema pripadnosti odgovarajućim karakterističnim modelima optimizacije, što je detaljno prikazano u radovima [1, 3], a delimično na slici 5.



Slika 4. Logika uspostavljanja veze između karakterističnih modela optimizacije i geometrije zahvata.

Na osnovu takve analize u sistemu je uspostavljena veza između zahvata ili operacija obrade i odgovarajućih karakterističnih modela optimizacije, a u



IPM TEHNOLOŠKI POSTUPCI I ALATI	KODIRANJE ZAHVATA OBRADE STRUGANJE	Sistem: VASTOPOR	IPM TEHNOLOŠKI POSTUPCI I ALATI	KODIRANJE ZAHVATA OBRADE STRUGANJE	Sistem: VASTOPOR
SKICA ZAHVATA	NAZIV KARAKTERISTIČNOG ZAHVATA	KOD	SKICA ZAHVATA	NAZIV KARAKTERISTIČNOG ZAHVATA	KOD
	Grubo spoljašnje struganje cilindra	SC10		Grubo spoljašnje struganje cilindra sa ograničenim izlazom noža	SC10
	Završno spoljašnje struganje cilindra	SC11		Završno spoljašnje struganje cilindra sa ograničenim izlazom noža	SC11
	Grubo unutrašnje struganje cilindra	SC20		Završno unutrašnje struganje cilindra i fino bušenje	SC21
	Grubo unutrašnje struganje cilindra sa ograničenim izlazom noža	SC20		Završno unutrašnje struganje cilindra sa ograničenim izlazom noža	SC21
	Grubo spoljašnje struganje konusa	SK10		Završno spoljašnje struganje konusa	SK11
	Grubo spoljašnje struganje konusa sa ograničenim izlazom noža	SK10		Završno spoljašnje struganje konusa sa ograničenim izlazom noža	SK11
	Grubo unutrašnje struganje konusa	SK20		Završno unutrašnje struganje konusa sa ograničenim izlazom noža	SK21
	Grubo unutrašnje struganje konusa sa ograničenim izlazom noža	SK20		Završno unutrašnje struganje konusa sa ograničenim izlazom noža	SK21
	Grubo kontorno struganje unutrašnjih radijus prelaza	SC04		Završno kontorno struganje unutrašnjih radijus prelaza	SC05
	Grubo spoljašnje bočno struganje	SC70		Završno spoljašnje bočno struganje	SC71
	Grubo unutrašnje bočno struganje	SC80		Završno unutrašnje bočno struganje	SC81
	Grubo kontorno spoljašnje struganje slojene konture	SC05		Završno kontorno spoljašnje struganje slojene konture	SC06
	Grubo kontorno unutrašnje struganje slojene konture	SC90		Završno kontorno unutrašnje struganje slojene konture	SC91
	Grubo unutrašnje struganje slojene konture	SC95		Završno unutrašnje struganje slojene konture	SC96
	Upravljanje radijusima unutrašnjih prelaza	SC10		Upravljanje radijusima unutrašnjih prelaza	SC10

IPM TEHNOLOŠKI POSTUPCI I ALATI	KODIRANJE ZAHVATA OBRADE BUŠENJE	Sistem: VASTOPOR	IPM TEHNOLOŠKI POSTUPCI I ALATI	KODIRANJE ZAHVATA OBRADE BUŠENJE	Sistem: VASTOPOR
SKICA ZAHVATA	NAZIV KARAKTERISTIČNOG ZAHVATA	KOD	SKICA ZAHVATA	NAZIV KARAKTERISTIČNOG ZAHVATA	KOD
	Zabušivanje zabušivačem bez zaštitnih prostiranja	BZ10		Proširivanje zaštitnim prostirivačem u neprolaznom otvoru	BP12
	Zabušivanje zabušivačem sa zaštitnim prostiranjem	BZ11		Proširivanje masnim prostirivačem u neprolaznom otvoru	BP13
	Bušenje spiralnom burgijom sa cilindričnom drskom	BS10		Izrada valjastog navoja	BH10
	Bušenje spiralnom burgijom sa koničnom drskom	BS11		Izrada trapeznog navoja valjastim urezivačem	BH11
	Bušenje dvostepenih rupa	BS12		Izradi valjastog navoja valjastim urezivačem u koničnoj rupi	BH12
	Obično bušenje lopovinom	BS13		Izrada trapeznog navoja valjastim urezivačem u koničnoj rupi	BH13
	Obično bušenje	BS14		Izrada trapeznog navoja valjastim urezivačem u koničnoj rupi	BH14

IPM TEHNOLOŠKI POSTUPCI I ALATI	KODIRANJE ZAHVATA OBRADE GLODANJE	Sistem: VASTOPOR	IPM TEHNOLOŠKI POSTUPCI I ALATI	KODIRANJE ZAHVATA OBRADE GLODANJE	Sistem: VASTOPOR
SKICA ZAHVATA	NAZIV KARAKTERISTIČNOG ZAHVATA	KOD	SKICA ZAHVATA	NAZIV KARAKTERISTIČNOG ZAHVATA	KOD
	Gruba obrada valjkastim glodalom	GV10		Glodanje specijalnim profilnim glodalom	GS10
	Završna obrada valjkastim glodalom	GV11		Kopirno glodanje oblikom vretenastog glodala	GK10
	Glodanje koturastim glodalom	GX10		Glodanje snopom glodala	GK20
	Glodanje ugaonim jednostranim glodalom	GV10		Glodanje ravne površine čeonim glodalom	GC10
	Glodanje ugaonim simetričnim glodalom	GV20		Glodanje vretenastim glodalom	GC20
	Glodanje ugaonim dvostranim glodalom	GV30		Glodanje slijeba oblika lastinog repa vretenastim glodalom	GC30
	Glodanje polutružno ispučenim	GV40			

IPM TEHNOLOŠKI POSTUPCI I ALATI	KODIRANJE ZAHVATA OBRADE BRUSENJE	Sistem: VASTOPOR	IPM TEHNOLOŠKI POSTUPCI I ALATI	KODIRANJE ZAHVATA OBRADE BRUSENJE	Sistem: VASTOPOR
SKICA ZAHVATA	NAZIV KARAKTERISTIČNOG ZAHVATA	KOD	SKICA ZAHVATA	NAZIV KARAKTERISTIČNOG ZAHVATA	KOD
	Kružno spoljašnje uzdužno brušenje u slijecima	BC10		Ravno brušenje čeonom površinom točila na brusilicu sa obrtnim stolom	BR30
	Kružno unutrašnje brušenje sa aksijalnim pomakom	BC20		Ravno brušenje čeonom površinom točila sa uzdužnim pomoćnim kretanjem	BR40
	Kružno spoljašnje poprečno brušenje sa stezanjem u slijeci	BC30		Ravno brušenje čeonom površinom točila sa uzdužnim i poprečnim pomoćnim kretanjem	BR50
	Kružno unutrašnje poprečno brušenje	BC40		Profilno brušenje rotacionih cilindričnih i čeonih površina	

Slika 5. Delimični prikaz sistematizovanih i kodiranih zahvata obrade i odgovarajućih karakterističnih modela optimizacije u VASTOPOR sistemu [1,3].

podsystemu za definisanje geometrije veza izmedju karakterističnih modela optimizacije i elemenata geometrije odgovarajućih zahvata, čime je u suštini uspostavljena logična veza izmedju dva podsistema, slika 2.

Na taj način je obezbedjeno da se zadavanjem koda zahvata obrade ili odgovarajuće oznake karakterističnog modela optimizacije, kome pripada kod posmatragnog zahvata, definiše njegova geometrija, kao prvi korak i interaktivnom toku optimizacije, koji je prikazan na slici 3.

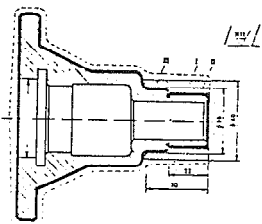
#### 4.1 PRIKAZ NEKIH PRIMERA DEFINISANJA GEOMETRIJE ZAHVATA I OPERACIJA OBRADE

Definisanje geometrije zahvata i operacija u ovom programskom sistemu optimizacije biće pokazano na nekim primerima koji se odnose na odredjivanje optimalnog tehnološkog procesa obrade izabranog obradka, koji je detaljno prikazan u radu [1]. Odredjivanje optimalnih vrednosti funkcija optimizacije za sve posmatrane varijante tehnoloških rešenja za pomenuti primer vrši se prema jedinstvenom interaktivnom toku, prikazanom na slici 3.

##### 4.1.1 Definisanje geometrije zahvata i operacija uzdužne obrade na strugu

U okviru optimizacije procesa obrade na NC strugu za pomenuti primer [1] odredjen je i optimalni redosled izvodjenja zahvata dela grube obrade, slika 6, i to za dve posmatrane alternative; struganje prečnika 40 mm na dužini 30 mm pa potom prečnika 36 mm na dužini 22 mm, ili prema drugoj alternativni, struganje prečnika 40 mm, na dužini 22 mm, pa potom struganje prečnika 40 mm na dužini 12 mm.

Na slici 7. prikazan je način definisanja geometrije u okviru toka odredjivanja optimalne vrednosti funkcije optimizacije za zahvat grube obrade prečnika 40 mm na dužini 30 mm.



Slika 6. Primer odredjivanja redosleda zahvata dela grube obrade struganjem

Upisile komandir SCILIM	
karakteristični prečnik cilindra	Definir: 40 E-3
Duzina cilindra	Definir: 30 E-3
Upisile komandir SKVAJ	
Dodelat za obradu	
Maksimalna brzapost	Definir: 2 E-3
Dovoljeni ugib	Definir: 25 E-4
Karakteristika uklještenja	Definir: 3 E-4
karakteristični prečnik stezanja	Definir: 100 E-3
Maksimalni prečnik obrade	Definir: 40 E-3
Minimalni prečnik obrade	Definir: 40 E-3

Slika 7. Definisanje geometrije za zahvat grubog struganja cilindra

Treba napomenuti da je za optimizaciju procesa konturne obrade na strugu jednim alatom u okviru rada [1] razvijen jedinstveni karakteristični model optimizacije, koji omogućuje optimizaciju ovog obradnog procesa u svim kombinacijama tehnoloških oblika kao što su cilindar, konus, sfera, torus, i popreč-

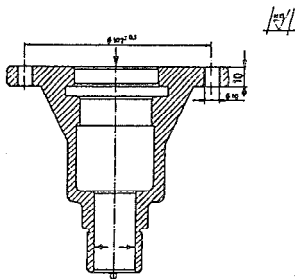
na obrada, sa mogućnošću ponavljanja pojedinih oblika, koji čine konturu obradka. Za svaki od ovih oblika u podsistemu za definisanje geometrije definisani su odgovarajući elementi makro geometrije. Za cilindrične oblike, prema slici 7, te elemente čine karakteristični prečnik i dužina cilindra. Nakon unošenja ovih podataka za oblike koji sačinjavaju konturu obradka unosi se instrukcija SKRAJ, a potom ostali podaci prema slici 7.

Karakteristični model optimizacije SCILIN; koji prema slici 5 ovuhvata osam karakterističnih zahvata obrade, omogućuje optimizaciju za svaki od ovih zahvata ako se korektno unesu elementi geometrije prema slici 7. Za primer koji se posmatra karakteristični prečnik cilindra, njegova dužina i dođatak za obradu određeni su usvojenom varijantom plana obrade u okviru posmatrane operacije. Maksimalna hrapavost i dozvoljeni ugib obradka su elementi kvaliteta obrade koje određuje tehnološka zakonitost, dok karakteristika uklještenja i karakteristični prečnik stezanja proizilaze iz usvojenog plana stezanja.

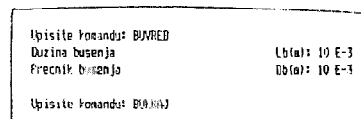
Unošenje podataka za maksimalni i minimalni prečnik zahteva ugradjena logika korišćenja jedinstvenog karakterističnog modela optimizacije i za druge oblike, kao što su konus, torus, sfera i elementi poprečne obrade struganjem.

#### 4.1.2 Definisanje geometrije zahvata i operacija obrade bušenjem

Definisanje geometrije zahvata i operacija procesa obrade bušenjem pri optimizaciji ovih obradnih procesa prema slici 3, biće pokazano na primeru određivanja optimalne varijante operacije obrade bušenjem četiri otvora prečnika 10 mm, slika 8, i to za varijantu redne obrade na stubnoj bušilici i varijantu koncentrisane obrade na bušilici sa viševretenom glavom, što je u radu [1] detaljno prikazano. Na slici 9 prikazani su podaci koji karakterišu geometriju pomenutih operacija obrade bušenjem i obuhvaćeni su, prema slici 5, jednim karakterističnim modelom optimizacije oznake BUVREB, kako za slučaj redne tako i za slučaj koncentrisane obrade [1].



Slika 8. Prikaz operacije bušenja

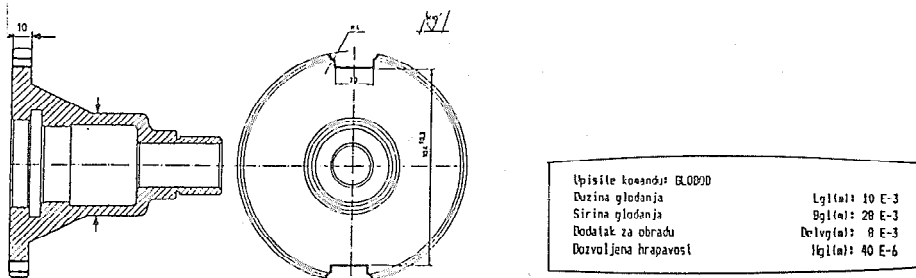


Slika 9. Definisanje geometrije zahvata i operacija obrade bušenjem

Kod definisanja geometrije zahvata i operacija obrade proširivanjem i razvrstanjem, uz odgovarajuće karakteristične modele optimizacije, osim elementa makro geometrije, unose se podaci o zahtevanom kvalitetu obrade [1].

#### 4.1.3 Definisanje geometrije zahvata i operacija obrade obimskim glodanjem

Primer definisanja geometrije zahvata i operacija obrade glodanjem u ovom programskom sistemu optimizacije prikazan je za operaciju glodanja prema slici 10, za koju su u radu [1] posmatrane dve alternative. Prva se odnosi na glodanje specijalnim profilnim obimskim glodalom a druga glodanjem u dve operacije - koturastim i četvrtkružnim ispupčenim, standardnim glodalima.



Slika 10. Prikaz operacije obrade profilnim glodalom.

Slika 11. Definisanje geometrije zahvata i operacija obrade obimskim glodanjem.

Karakteristični model optimizacije, oznake GLOBOD, omogućuje odredjivanje optimalnih vrednosti funkcija optimizacije za 15 karakterističnih zahvata i operacija obrade obimskim glodanjem [1], prema toku prikazanom na slici 3.

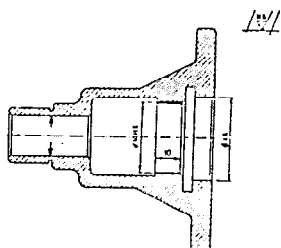
Na slici 11 dati su podaci za geometriju operacije obrade profilnim glodalom, kao prvu varijantu, a odgovarajući podaci za drugu varijantu ove operacije unose se na bazi istog sadržaja, prikazanog na ovoj slici.

#### 4.1.4 Definisanje geometrije zahvata i operacija obrade okruglim brušenjem

Karakteristični zahvati i operacije obrade brušenjem u ovom programskom sistemu optimizacije obuhvaćeni su sa šest karakterističnih modela optimizacije [1]. Za sve ove modele utvrđeni su elementi geometrije odgovarajućih zahvata i operacija.

Tako, naprimer, za karakteristični model optimizacije oznake KRUBAP, koji prema slici 5 obuhvata zahvata i operacije obrade okruglim brušenjem sa stezanjem obradaka, na slici 13 dati su elementi geometrije, koji se unose pri odre-

djivanju optimalne vrednosti funkcija optimizacije, prema interaktivnom toku prikazanom na slici 3.



Model brušenja	Dbr (a): 40.2 E-3
Frekvencija brušenja	Lbr (a): 10 E-3
Debljina brušenja	Delbr (a): 2 E-4
Debljina obrade	fbr (a): 2 E-5
Debljina ugiba	lbr (a): 1.2 E-6
Maksimalna brzinost	Lsbr (a): 50 E-3
Karakteristična stezanja	Dsbr (a): 30 E-3
Karakteristični prečnik stezanja	

Slika 12. Prikaz operacije obrade brušenjem.

Slika 13. Definisane geometrije zahvata i operacija obrade okruglim brušenjem pri stezanju obradka.

U radu [1], u okviru optimizacije tehnološkog procesa obrade za dati primer, određena je optimalna varijanta operacije obrade brušenjem, prikazane na slici 12. Za varijantu brušenja sa aksijalnim i varijantu brušenja sa radijalnim pomakom određene su optimalne vrednosti funkcija optimizacije prema toku prikazanom na slici 3, uz korišćenje istog modela optimizacije, oznake KRUBAP. Odgovarajući podaci za elemente geometrije za ove dve varijante operacije uneti su prema sadržaju datom na slici 13, na kojoj su prikazani podaci za geometriju prve varijante.

Definisane geometrije zahvata i operacija prema izloženim pravilima može se vršiti pri optimizaciji tehnoloških procesa obrade koji su prikazani u obliku pisane i crtane tehnologije. Pri tome je neophodno koristiti razvijeni sistem kodiranja zahvata i operacija, koji je korišćen u razvoju ovog programskog sistema optimizacije.

## 5. ZAKLJUČAK

Razvijeni podsistem za definisanje geometrije zahvata i operacija u koje su, u okviru postavljenog modela automatizacije varijantnog sistema optimizacije, uspostavljene logične tehnološke veze između karakterističnih modela optimizacije i odgovarajućih sistematizovanih zahvata i operacija obezbeđuje interaktivno definisanje njihove geometrije na jednostavan način.

Sistematizacija i kodiranje zahvata i operacija obrade predstavlja osnovni uslov da se jednim karakterističnim modelom optimizacije obuhvati što veći broj zahvata i operacija, a samim tim da se broj pravila u podsistemu za definisanje njihove geometrije svede na najmanju meru.

## R e f e r e n c e

1. Todić V.: Varijantni automatizovani sistem optimizacije tehnoloških procesa obrade, Doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1987.
2. Todić, V.: Automatizacija razvijenog varijantnog sistema optimizacije tehnoloških procesa obrade, XIX Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, 1985.
3. Todić V.: Sistematizacija i kodiranje zahvata obrade u VASTOPOR sistemu, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo, Zb.R.IPM4(1987)4, Novi Sad, 1987.
4. Todić V., Banjac D., Stanić J., Milošević V.: Izbor alata u programskom sistemu VASTOPOR, XV JUPITER konferencija, Cavtat, 1989.
5. Banjac, D., Todić, V. i dr.: Tehnoekonomska optimizacija elemenata tehnologije mašinske obrade, Elaborat istraživačke teme koju je finansirao SIZ NR Vojvodine, FTN, 1980.
6. Zeljković M., Gatalo R.: Automatizacija izbora alata pri obradi struganjem rotacionih izradaka u sistemu SAPOR-S, XI simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 1981.
7. Kochan D.: Fertigungsprozessgestaltung und Informations-ferarbeitung, VEB Verlag, Technik, Berlin, 1977.
8. Eversheim, W.: Organization in der Produktionstechnik, Band 3, Arbeitsvorbereitung, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1980.
9. Horváth, M., Somló, J.: A forgacsoló megmunkálások optimalasa es adaptiv irányitása, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.

V. Todić, D. Banjac, V. Milošević

## GEOMETRY DEFINING OF WORKING OPERATIONS IN THE VASTOPOR PROGRAMMING SYSTEM

### S u m m a r y

*The model for automation of system, with roles in the subsystem for geometry defining of working operations and connection between this and subsystem of internal optimization are developed. This enable internal and external optimization of working processes on the interactive principle.*



H. Muren. U. Rumpret\*

## AUTOMATSKI IZBOR OPTIMALNOG ALATNOG STROJA NA OSNOVU KINEMATSKJE KLASIFIKACIJE IZRATKA

### 1. UVOD

U novije vrijeme trend razvoja proizvodnje ide prema takozvanoj tvornici budućnosti u kojoj bi kompletni postupak proizvodnje od koncepta izratka pa sve do isporuke trebao biti potpuno automatiziran. O tome se sada razmišlja i na Fakulteti za strojništvo u Ljubljani. Pripremaju se planovi za izgradnju nove zgrade u kojoj će biti smješten model tvornice budućnosti. U toj tvornici koja bi trebala biti u potpunosti automatizirana i upravljana računalom: će biti smještena konstrukcija, obrada i kontrola sa svim potrebnim pratećim odelenjima, kao na primjer automatizirano skladište, alatnica, ekspedit itd.

U čitavom lancu nastanka proizvoda od koncepta, izrade konstrukcione dokumentacije, obrade pa sve do završne kontrole, već danas postoji mogućnost automatizacije pojedinih faza. Jedina od najvažnijih „karika“ u tom lancu je izbor optimalnog alatnog stroja. U svijetu su već poznati neki načini klasifikacije izradaka, na osnovu kojih se može pojednostaviti dalji rad na projektiranju proizvodnje.

Na Fakulteti za strojništvo Ljubljana je u početnoj fazi ispitivanja nova ideja, da se izradak klasificira na osnovu kretanja koja su potrebna za obradu. Budući da se mogu svi alatni strojevi za obradu rezanjem klasificirati na isti način (s time da se kod njih može uključiti i informacija o orijentaciji u prostoru), postoji mogućnost da se izbor stroja obavi pomoću računara primjenom „maske“ koja sadrži informacije o stroju. Ako se svi podaci o izratku poklapaju s maskom, stroj je sposoban za obradu tog koinada.

Uključivanjem dodatnih podataka o stroju (veličina radnog prostora, troškovi obrade, planirano opterećenje itd.) izbor se može suziti na stvarno optimalni stroj za konkretan primjer. U tu svrhu bi bilo potrebno izraditi samo dodatnu datoteku u kojoj bi bili pored podataka koji se normalno nalaze na strojnim karticama i ostali za planiranje potrebni podaci.

---

\* / dr. Hinko Muren, dipl. ing., redovni profesor Fakultete za strojništvo Ljubljana, Mur-nikova 2

Uroš Rumpret, dipl. ing., istraživač Fakultete za strojništvo Ljubljana, Mur-nikova 2



U referatu su u nastavku prikazana dosadašnja razmišljanja o gornjoj ideji koja će se u ovoj i u sljedećoj godini ispitivati detaljnije. U nacrtu je izrada programa za računalo za idealizirani model tvornice, na kojem bi se ispitala svrsishodnost i upotrebljivost nove ideje. Budući da su sada u toku tek prve provjere o prednostima nove ideje, jasno je da nije još moguće dati neku definitivnu ocjenu rezultata, svakako izgleda da je metoda upotrebljiva i istovremeno vrlo jednostavna, svakako mnogo jednostavnija od poznatih metoda.

## 2. OSNOVNA IDEJA

Potpuna automatizacija proizvodnje, uključivši konstrukciju, kontrolu i ostale sporedne djelatnosti je vrlo obiman posao za koji danas još nisu ispunjeni svi uslovi. U tom lancu jedna od vrlo važnih karika je automatski izbor odgovarajućeg alata i alatnog stroja stroja. Klasifikacija izratka prema našoj ideji trebala bi omogućiti na vrlo jednostavan način izbor odgovarajućeg stroja a u drugoj fazi istraživanja i alata. Kod naših prvih razmišljanja ograničili smo se na izbor stroja, i to isključivo na osnovu oblika izratka. Ukoliko bismo pri tome dobili pozitivne rezultate, razvojna istraživanja bit će proširena na uključivanje ostalih karakteristika kao na primjer optimalne dimenzije stroja, veličinu radnog prostora, planirano opterećenje itd., a zatim na izbor odgovarajućeg alata.

Kod obrade skidanjem strugotine na koju smo se ograničili u istraživanjima, strugotina nastaje zbog međusobnog kretanja alata i izratka. Pored alatom postupak obrade (tokarenje, bušenje, blanjanje, brušenje itd.) određen je:

- glavnim kretanjem
- posmičnim kretanjima i
- međusobnim odnosom tih kretanja.

Prema tome poznavanje tih kretanja i njihovog međusobnog odnosa određuje osnovne karakteristike alatnog stroja koji je sposoban za obradu tog predmeta. Ako stroj omogućava isto glavno i ista posmična kretanja s istim međusobnim odnosom **ispunjen je nužni uslov za upotrebljivost stroja.**

Ako je ispunjen samo gornji nužni uslov to jasno ne znači da je pronađen optimalni stroj. Na taj način kao odgovarajući stroj za tokarenje valjkastih osovina pronašli bismo tokarilicu i glodalicu (ako bismo na poslednju montirali uređaj za stezanje alata). Algoritam za izbor optimalnog stroja na svaki način trebao bi uključivati i dodatne kriterije s kojima bi bilo moguće isključiti moguće a ne **tehnički optimalne strojeve.**

Pronalaženje potrebnih kretanja na osnovu geometrijskog oblika izratka treba već u prvoj fazi nadopuniti jednim važnim podatkom o alatu. Informacija o geometrijskom obliku izratka može biti obuhvaćena:

- u međusobnim pokretima alata i izratka ili
- oblikom oštrice alata (kod profilnih alata).

Ukoliko se predviđa izrada klasifikacije izratka sa strane tehnologa s odgovarajućim iskustvima ovo ne bi bio nikakav problem.

Kod potpune automatizacije procesa koja bi trebala omogućiti i automatsku klasifikaciju, problem je nešto teži. Momentano na primjer nije još jasno kako izraditi algoritam za automatski izbor stroja za obradu osovine sastavljene od jednostavnih valjaka različitog promjera, ako se treba odlučiti između obične tokarilice i novog (za sada još malo poznatog) stroja za tokarenje glodanjem kod kojeg se alat okreće. Među (za sada) nerješanim problemima može se spomenuti i izrada navoja koja je moguća jednostavnim profilnim alatom na tokarilici i profilnim glodalom na specijalnoj glodalici. U prvom slučaju glavno kretanje obavlja izradak a potrebno je samo jedno posmično kretanje, u drugom glavno kretanje obavlja alat a potrebna su dva posmična kretanja, prvo pravolinijsko i drugo kružno.

### 3. KINEMATIČKA KLASIFIKACIJA IZRATKA

Praksa upotrebljava danas više načina za klasifikaciju izratka koje ne bismo posebno nabrali, budući da su dobro poznati iz literature. Ovdje bismo spomenuli samo klasifikaciju na osnovu takozvanih primitiva koja se može upotrebiti na početku rada prema našoj ideji kao pomoć za bržu pa čak i za automatsku klasifikaciju. Kao primitive pri tome označavamo osnovna geometrijska tijela raspoređena u tabele odnosno u matrice. Svaki primitiv ima zavisno od položaja u tabeli svoju šifru ili kodu.

Prema našoj ideji izradak se može klasificirati kretanjima koja su potrebna za obradu skidanjem strugotine. Za većinu predmeta potrebno je odrediti:

- jedno glavno kretanje i
- do najviše četiri posmična kretanja.

Za svako od tih kretanja prvo je potrebno odrediti, dali ga obavlja:

- alat ili
- obradak.

Dalje svako od tih kretanja može biti:

- kružno ili
- pravolinijsko.

Za potpunu kinematičku klasifikaciju potrebno je na kraju odrediti međusobni odnos tih kretanja. Ako se kao baza odredi glavno kretanje, posmična kretanja mogu biti prema njemu:

- paralelna
- okomita ili
- kosa pod određenim kutom.

Za obradu na računalu predviđa se da bi bilo potrebno upotrebiti za klasifikaciju pet brojeva: prvim bi bilo određeno glavno kretanje a ostala četiri broja bila bi rezervirana za definiciju četiri moguća posmična kretanja (u praksi većina strojeva raspolaže s najviše tri posmaka). Svaki od tih pet brojeva mogao bi biti definiran kao decimalni broj koji bismo dobili zbrajanjem brojčanik oznaka za elemente koji određuju pojedino kretanje.

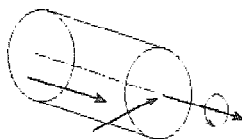
Za programiranje vrlo jednostavna metoda šifriranja bi bila upotrebom sljedećih oznaka:

	oznaka	
kretanje izvodi obradak	0	
kretanje izvodi alat	1	
kretanje je kružno	0	
kretanje je pravolinijsko	2	
posmak paralelan s glavnim kretanjem	4	(0 - nije paralelan)
posmak okomit na glavno kretanje	8	(0 - nije okomit)
posmak koso na glavno kretanje	16	(0 - nije kos)

Brojku koja predstavlja šifru glavnog ili jednog od posmičnih kretanja dobivamo sada zbrajanjem odgovarajućih podataka. Budući da od gornjih sedam mogućnosti kod posmaka moramo uzeti u obzir tri, suma će se kretati od 4 do maksimalno 19. Ako posmaka uopće nema suma je 0.

Kod glavnog kretanja iznimno treba zbrajati samo dva podatka, pa će se suma kretati između 0 i 3.

Kao primjer za šifriranje možemo uzeti tokarenje jednostavnog valjka kod kojeg treba obraditi plašt (uzdužno tokarenje) i čeonu površinu (poprečno tokarenje). Potrebna kretanja prikazana su šematski na slici 1.



Slika 1. Tokarenje valjka

Glavno kretanje izvodi izradak (oznaka 0); kretanje je kružno (oznaka 0). Suma je 0.

Posmak u uzdužnom smjeru (paralelno s glavnim kretanjem - oznaka 4) izvodi alat (oznaka 1); kretanje je pravolinijsko (oznaka 2). Suma je 7.

Posmak u poprečnom smjeru (okomito na glavno kretanje - oznaka 8) izvodi alat (oznaka 1); kretanje je pravolinijsko (oznaka 2). Suma je 11.

Šifra za obradu komada prema slici 1 je prema tome:

0 - 7 - 11 - 0 - 0 - 0

Budući da je svaka brojka šifre nula ili suma sastavljena od broja 2 na eksponent od 0 do 4, kod programiranja se može jednostavno pretvoriti u binarni broj sa 5 mjesta, zbog toga je vrlo pogodna za obradu na računalu.

Kod opisane kinematičke klasifikacije izratka potrebno je opisati samo međusobni odnos kretanja, smjer pojedinih pokreta u prostoru nije važna. Na taj način klasifikacija valjka, na primjer, ne propisuje još dali će se taj predmet obrađivati na horizontalnoj ili na vertikalnoj tokarilici (karuselu). Izbor između te dvije mogućnosti obavio bi se tek kasnije nakon izbora mogućih strojeva na osnovu dodatnih podataka (u ovom primjeru na osnovu veličine radnog prostora ili na osnovu zatražene krutosti).

Posao kod kinematičke klasifikacije moglo bi se skratiti ako su predmeti već klasificirani na već spomenuti način upotrebom primitiva. Za svaki primitiv, na primjer prema Aachen-skom načinu, moglo bi se unjeti u računalo odgovarajuću kombinaciju gore spomenutih pet brojeva. Ako bi bio predmet sastavljen iz više primitiva s istim glavnim kretanjem, za obradu bi bila dovoljna samo jedna radna operacija koja se može opisati samo jednom šifrom. Ako su posmaci kod pojedinih primitiva različiti, u toj jednoj šifri su svi ovi posmaci upisani s odgovarajućim brojkama na mjestima od 2 do 5, sortirani po veličini.

Izbor odgovarajućeg stroja (i alata) bi se mogao u potpuno automatizirani tvornici obavljati na dva načina, zavisno od vrste proizvodnje.

U tvornici koja se bavi **isključivo uslugama** (na primjer kooperanti) na ulazu proizvodnog procesa postoji već nacrt ili uzorak izradaka. Ako u pratećoj dokumentaciji još ne postoji klasifikacija izradaka (na primjer pomoću primitiva) potrebno je na ulazu „ručno“ izraditi kinematičku klasifikaciju. Na tom mjestu potreban bi bio tehnolog s odgovarajućim iskustvom i znanjem koji bi analizirao predmet i za njega napisao odgovarajuće šifre. Kao pomoć mogao bi pri tome upotrebljavati tabele primitiva kojima bi bile već određene šifre.

Ako je u proces **proizvodnje uključena i konstrukcija** šifriranje izradaka bi se moglo obaviti već u samoj konstrukciji.

Konstrukter bi trebao konstruirati izradak na računalu na taj način da ga sastavi od pripremljenih primitiva koji se nalaze već u memoriji računala. U tom slučaju svaki primitiv u memoriji ima kao dodatni podatak šifru kinematičke klasifikacije. Računalo bi moglo automatski prema odgovarajućem algoritmu kod spajanja primitiva u cjelinu izraditi odgovarajuće šifre za obradu.

Ako je za obradu potrebno za sve primitive koji **sastavljaju predmet isto glavno kretanje**, obrada se može obaviti u samo jednoj radnoj operaciji ali s odgovarajućim brojem posmaka. Međutim, ako su za pojedine primitive potrebna različita glavna kretanja to znači da se mora obrada podijeliti na više radnih operacija, obično na više strojeva.

Kod ovakve organizacije rada nije potrebna posebna klasifikacija izradaka. Zajedno s radioničkim nacrtom izlazi iz konstrukcije šifra za klasifikaciju koja bi mogla poslužiti za izbor alatnog stroja i vjerojatno bez velikih problema i za izbor potrebnih alata. Budući da šifriranje obavi računalo automatski, paralelno s konstrukcijom predmeta, otpada potreba za posebno šifriranje, što znači priličnu uštedu radnog vremena i smanjenje potrebnih radnika.

#### 4. KINEMATIČKA KLASIFIKACIJA ALATNIH STROJEVA

Da bi se mogao za svaki klasificirani obradak automatski pronaći odgovarajući alatni stroj potrebno je na kompatibilan način klasificirati sve strojeve.

Kao prvo treba dodati na radne kartice strojeva šifru kinematičke klasifikacije stroja koja će biti opisana u nastavku, a zatim podatke s kartica prenijeti u računalo. Odgovarajući program treba sada omogućiti da čim računalo primi podatke o obradku automatski može pronaći strojeve koji su u stanju da obradak obrade.

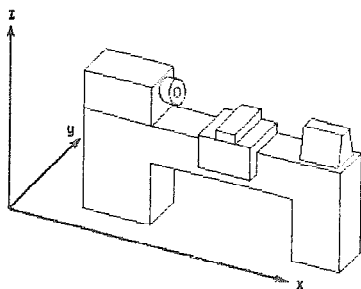
Naše istraživanje smo za sada ograničili do faze kada računalo izradi spisak svih strojeva koji dolaze u obzir. U nacrtu imamo izradu probnog programa za model male tvornice s na primjer dvadesetak strojeva da bismo mogli testirati upotrebljivost naše ideje. Kod te prve faze predviđa se kao dodatni podatak za izbor optimalnog stroja iz spiska mogućih strojeva samo veličina radnog prostora.

U nastavku istraživanja potrebno će biti izraditi algoritam prema kojem bi se iz tog spiska izabrao optimalni stroj. U tu svrhu trebalo bi kinematskoj klasifikaciji strojeva dodati podatke o:

- radnom prostoru stroja (najpovoljniji je stroj s minimalno većim prostorom od nužno potrebnog)
- brzinama s kojima raspolaže stroj (brzina treba da odgovara materijalu izratka i alata)
- krutosti i istrošenosti stroja (stroj mora biti sposoban postići propisanu kvalitetu obrade)
- planiranoj zauzetosti stroja (obrada se mora obaviti u planiranom roku) itd. itd.

Kinematička klasifikacija stroja daje stroju odgovarajuću šifru s istim podacima kao kod klasifikacije izradaka, s time da su dodani i **podaci o smjerovima pojedinih kretanja u prostoru**.

Za klasifikaciju stroja potrebno je najprije izabrati koordinatni sistem koji omogućuje opisati smjer pojedinih kretanja. Prijedlog za izbor koordinatnog sistema prikazan je na slici 2.



Slika 2. Koordinatni sistem za klasifikaciju alatnog stroja

Šifra stroja može biti sastavljena jednako kao šifra izratka od 5 brojeva, prvi određuje glavno kretanje, sljedeća četiri označavaju moguće posmake. Svaki od brojeva sadrži iste podatke kao kod klasifikacije izratka, a tim podacima dodan je i podatak o smjeru tog kretanja u prostoru.

Elementi iz kojih se sada sastoji oznaka za svako kretanje mogu imati sljedeće brojeve:

	oznaka	
kretanje izvodi obradak	0	
kretanje izvodi alat	1	
kretanje je kružno	0	
kretanje je pravolinijsko	2	
posmak paralelan s glavnim kretanjem	4	(0 - ako nije paralelan)
posmak okomit na glavno kretanje	8	(0 - ako nije okomit)
posmak koso na glavno kretanje	16	(0 - ako nije kos)
kretanje u smjeru x	32	(0 - ako u tom smjeru nema kretanja)
kretanje u smjeru y	64	(0 - ako u tom smjeru nema kretanja)
kretanje u smjeru z	128	(0 - ako u tom smjeru nema kretanja)

Brojevi koji označavaju pojedina kretanja dobivaju se na sličan način kao kod klasifikacije izratka zbrajanjem odgovarajućih podataka. Svakako treba gornji prijedlog smatrati tek kao prvi pokušaj i prikaz ideje koju vjerovatno treba tek dopuniti.

Prema gornjoj šemi šifra obične uzdužne tokarilice je:

32 - 39 - 75 - 115 - 0 - 0

Na prvi pogled šifra izratka prema slici 1 i stroja prema slici 2 nemaju nikakve sličnosti. Situacija se mijenja u potpunosti ako obje šifre napišemo u obliku binarnih brojeva kako su prikazane na slici 3.

Šifra obratka: 

0000
------

0111
------

1011
------

0000
------

0000
------

Šifra stroja: 

01000000
----------

01001111
----------

10010101
----------

11100111
----------

00000000
----------

Slika 3. Šifre obratka i obradujućeg stroja u binarnom obliku

Rezultat je vrlo interesantan: šifre obratka u binarnom obliku se poklapaju na postojećim mjestima sa šiframa stroja. Pri tome treba uzeti u obzir da nule za treće i četvrto posmično kretanje znače da za obradu ta kretanja nisu potrebna, pa se ne moraju poklapati s odgovarajućim posmacima stroja ako stroj te posmake omogućava. Šifra glavnog kretanja, međutim, se mora poklapati i u slučaju da se sastoji od samih nula jer to ne znači da tog kretanja nema.

## 5. ZAKLJUČAK

U referatu prikazan je prijedlog za nov način klasifikacije obradaka i alatnih strojeva koji bi mogao biti dobra osnova za automatiziran izbor optimalnog alatnog stroja u potpuno automatiziranoj tvornici budućnosti. Budući da su istraživanja mogućnosti automatskog izbora alatnog stroja tek na početku, nema još konačnih rezultata koji bi se mogli upotrebiti za ocjenu svrsishodnosti.

H. Muren, U. Rumpret

### Automatisierte Auswahl der optimalen Werkzeugmaschine mit Hilfe der kinematischen Klassifizierung des Werkstückes

Um die vollkommene Automatisierung in der Fabrik der Zukunft zu ermöglichen, benötigt man auch eine automatisierte Auswahl der optimalen Werkzeugmaschine. Im Referat wird eine neue Klassifizierung des Werkstückes sowie der Werkzeugmaschine vorgeschlagen, die einerseits sehr einfach ist, ermöglicht aber voraussichtlich eine relativ einfache Programmierung der Auswahl. Für die Klassifizierung des Werkstückes werden für die Bearbeitung nötigen Bewegungen, bei der Werkzeugmaschine die vorhandene Arbeitsbewegungen mitsamt der Orientierung im Raum beschrieben. Wenn alle Ziffern der Klassifizierungsnummer des Werkstückes in der Nummer der Maschine vorhanden sind, ist die Maschine für die Bearbeitung geeignet; für die optimale Auswahl müssen jedoch noch weitere Kriterien zugezogen werden.

Rodić M.\*)

## SISTEM KLASIFIKACIJE PRIBORA KAO OSNOVA ZA AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE I UNIFIKACIJU PRIBORA\*\*

### 1. UVOD

U savremenim proizvodnim sistemima sa automatizovanom proizvodnjom i automatizovanim projektovanjem proizvoda i tehnoloških procesa ističe se potreba za automatizovanim projektovanjem i izborom pribora. Analizom literaturnih i drugih informacija može se zaključiti da metode konstruktivne i tehnološke pripreme pri proizvodnji pribora najčešće baziraju na individualnom prilazu svakom obradku, za koji se razvijaju pribora za prihvatanje obradaka originalne konstrukcije. Takav prilaz najčešće je neracionalan i zamenjuje se metodama koje značajno skraćuju rokove i troškove pri projektovanju i izradi pribora.

Na Institutu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu razvijen je informacioni model konstrukcije pribora. On odražava sastav i strukturu projektovanog pribora. U njemu su sadržani podaci o konstruktivnim elementima, njihovim svojstvima, međusobnim položajima i vezama. Izgradjeni automatizovani sistem projektovanja pribora zasniva se na sistemu označavanja, posebno klasifikaciji, glavnim i pomoćnim koordinatnim sistemima, tipskim projekcijama elemenata pribora, bazi podataka koja respektuje prednje činioce, razvijenom softveru i neophodnom interaktivnom radu.

Na osnovu napred rečenog vidi se da je sistem klasifikacije jedan od bitnih elemenata automatizovanog sistema projektovanja pribora. Dobro strukturiran sistem klasifikacije pribora treba da,

---

\*) Rodić mr Milorad, dipl.inž., asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V. Perića-Valtera 2.

\*\*\*) Rad je proizašao iz istraživanja koje finansira SIZ za naručni rad Vojvodine Novi Sad



pre svega, obezbedi racionalan izbor i projektovanje pribora, kao i sistemski prilaz unifikaciji i standardizaciji pribora. Pri izgradnji sistema klasifikacije pribora i elemenata pribora važnije su one kriterijume koji omogućavaju da se pribori i elementi pribora razgraniče u konstruktivno-tehnološkom i funkcionalnom pogledu.

Na osnovu analize literature može se ustanoviti da su razvijeni različiti klasifikacioni sistemi. Razlikuju se klasifikacioni sistemi zasnovani na postupku obrade, klasifikacioni sistemi zasnovani na funkciji pribora i kombinacija prethodna dva klasifikaciona sistema.

## 2. RAZVOJ SISTEMA KLASIFIKACIJE PRIBORA

Pri razvoju sistema klasifikacije pribora, pošto se od potreba automatizovanog projektovanja pribora Sistem klasifikacije pribora konceptijski se zasniva na:

- funkcionalnoj i tehnološkoj klasifikaciji pribora,
- brznoj i pouzdanoj informisanosti o svojstvima i karakteristikama pribora i mogućnostima korišćenja savremenih tehničkih sredstava za memorisanje i obradu podataka,
- klasifikaciji i unifikaciji konstrukcija pribora prema tipskim tehnološkim operacijama, čija sistematizacija omogućava da se unificiraju i standardizuju konstrukcije pribora i elemenata pribora,
- intenzivnosti tehnološkog progressa u ekonomiji rada,
- humanizaciji rada.

Struktura klasifikacione oznake prikazana je na slici 1. Klasifikaciona oznaka je podeljena na tri nivoa (bloka): A, B i C. Svi nivoi se mogu odvojeno i zajednički razmatrati.

Blok A izdvaja pribore iz integralnog poslovnog sistema i definiše pribor prema stepenu specijalizacije. Na slici 2. prikazana je podela pribora prema stepenu specijalizacije i faze unifikacije i standardizacije kod pribora različitog stepena specijalizacije. Princip unifikacije i standardizacije konstrukcija pribora po šemi osnovni deo ili osnovni sklop, tipaska konstrukcija, radna konstrukcija, i delovi, je prihvatljiv za sve sisteme pribora sa višeznačnom upotrebom [3, 1]. Polazeći od osnovnih postavki da pribori služe za obezbedjivanje potrebne tačnosti, povećanje proizvodnosti i olakšanja rada radniku za izvo-

djenje određene tehnološke operacije obrade, mogu se koristiti pribori koji obezbeđuju istu tačnost, ali su različiti po slo-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Blok A		Blok B														Blok C																		
A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	C5																						
PRIBOR		KARAKTERISTIKA OBRADKE														ELEMENTI ZA POZICIONIRANJE I CENTRIRANJE																		
STEPEN SPECIJALIZACIJE		GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE OBRADKA														ELEMENTI ZA POZICIONIRANJE I PODEŠAVANJE REZNOG ALATA																		
SVOJSTVO OBRADKE		DIMENZIONIRANJE OBRADKA														ELEMENTI ZA STEZANJE																		
KARAKTERISTIKA OBRADKE		KARAKTERISTIKE STEZANJA														GRUPE SKLOPOVA																		
ŠEŠMA BAZIRANJA - POZICIONIRANJA		TELO PRIBORA														ELEMENTI ZA POZICIONIRANJE I PODEŠAVANJE REZNOG ALATA																		
GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE OBRADKA		ELEMENTI ZA POZICIONIRANJE I CENTRIRANJE														ELEMENTI ZA STEZANJE																		
DIMENZIONIRANJE OBRADKA		ELEMENTI ZA STEZANJE																																
KARAKTERISTIKE STEZANJA																																		
GRUPE SKLOPOVA																																		
TELO PRIBORA																																		
ELEMENTI ZA POZICIONIRANJE I PODEŠAVANJE REZNOG ALATA																																		
ELEMENTI ZA POZICIONIRANJE I CENTRIRANJE																																		
ELEMENTI ZA STEZANJE																																		

Slika 1. Struktura klasifikacione oznake.

ženosti, ceni ili proizvodnosti. Zbog toga je potrebno, kod definitivnog odlučivanja, za izbor odgovarajućeg pribora izvršiti tehnno-ekonomsku analizu.

Unifikacija standardizacija	Stepen specijalizacije pribora					
	Objekti Faze	Univerz. pribori	Grupni univerzalni pribori	Grupni specijalni pribori	Univerz. mont-dem. pribori	Specijalni mont-dem. pribori
Osnovni delovi i sklopovi	-	Univerzalni osnovni sklop	Specijalni osnovni sklop	Montažno-demon- tažni osnovni de- lovi i sklopovi		-
Tipske konstrukcije	-	Tipske konstruktivne šeme				-
Radne konstrukcije	Univerzalni pribor	Pribor sa podešavanjem		Montažno-de- montažni pribori		Specijalni pribori
Sastavne jedinice i delovi pribora	Standardni	Standardni i specijalni		Standardni i visoke tačnosti	Standardni i specijalni	Specijalni i standardni

Slika 2. Podela pribora prema stepenu specijalizacije i prikaz faza unifikacije i standardizacije.

Kao što se vidi iz klasifikacione oznake pribora osnovna polja za opisivanje pribora i operacije koje ih prate su: B1 - svojstvo obrade; B2-osnovne karakteristike obrade; B3-šema baziranja (pozicioniranja); B4-geometrijske karakteristike obradka; B5-dimenzione karakteristike obradka; B6-karakteristike stezanja obradka u priboru.

Polje B11 kodira se:

- strugovi	1
- bušilice	2
- glodalice	3
- brusilice	4
- provlakačice	5
- rendisaljke	6
- mašine alatke za ozubljenje	7
- obradni centri	8
- fleksibilne tehnološke ćelije i sistemi	9
- ostale mašine alatke	0

Polja B12 i B13 preciznije definišu svojstvo obrade |1|. Sa ova dva kodna mesta pobliže se određuje mašina alatka za koju se projektuje pribor i definiše operacija obrade koja se izvodi na obradku.

Polje B2 definiše broj istovremeno obradjivanih obradaka u priboru i dopunsku vrstu obrade koja se obavlja u jednom priboru na različitim pozicijama mašine alatke ili na nekoliko mašina automatske linije |1|.

Polje B3 kodira se prema slici 3. Definiše oblik naslone bazne površine u odnosu na sto mašine, oblik i položaj orjentišuće bazne površine u odnosu na naslonu baznu površinu i oblik i položaj uporne bazne površine u odnosu na naslonu baznu površinu.

Polje B4 definiše geometrijske karakteristike obradaka za koje se projektuje pribor |1|. Praktično ova kodna mesta se preuzimaju iz klasifikatora obradaka vodeći računa o karakteristikama koje su značajne za oblikovanje adekvatnog pribora.

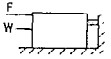
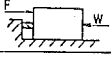
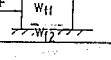
Polje B5 definiše dimenzione karakteristike obradaka |1|.

Polje B6 definiše šemu stezanja, silu stezanja i pogon stezanja (slika 4).

Blok C definiše osnovne elemente koji sačinjavaju pribor. Sa- stoji se iz pet polja: C1-grupe sklopova; C2-telo pribora; C3-elementi za vođenje i podešavanje alata; C4-elementi za pozicioniranje i centriranje; C5-elementi za stezanje.

NASLONA BAZNA POVRŠINA A	RAZMEŠTAJ NBP PRIBORA ODNOSNO STOLA MASINE ILI OSE POLU- FABRIKATA	ORJENTISUĆA BAZNA POVRŠINA B	OSNOVNA SEMA (BEZ UPORNE BAZNE POVRŠINE)	UPORNA BAZNA POVRŠINA V				
				RAVAN NORMALNA ILI PARALELNA NBP	BOČNA POVRŠINA ŽLJEBA			OTVOR NORMALAN NA NBP
RAVAN	HORIZONTALNO	NORMALNA	1000	1001	1002		1004	
	VERTIKALNO	RAVNA NA	1100	1101	1102		1104	
	KOSO	NBP	1200	1201	1202		1204	
	HORIZONTALNO	NORMALAN	1010	1011	1012	1013	1014	
	VERTIKALNO	OTVOR NA	1110	1111	1112	1113	1114	
	KOSO	NBP	1210	1211	1212	1213	1214	
	HORIZONTALNO	PARALELAN	1020	1021	1022		1024	
	VERTIKALNO	OTVOR	1120	1121	1122		1124	
	KOSO	NBP	1220	1221	1222		1224	
	HORIZONTALNO	CILINDAR SA	1030	1031	1032	1033	1034	
	VERTIKALNO	OSOM NORMAL	1130	1131	1132	1133	1134	
	KOSO	OM NA NBP	1230	1231	1232	1233	1234	
HORIZONTALNO	CILINDAR SA	1040	1041	1042		1044		
VERTIKALNO	OSOM DVA	1140	1141	1142		1144		
KOSO	LELJENJA NBP	1240	1241	1242		1244		
CILINDRIČNA	HORIZONTALNO	RAVAN NOR-	2000	2001	2002	2003	2004	
	VERTIKALNO	MALNA NA	2100	2101	2102	2103	2104	
	KOSO	OSU NBP	2200	2201	2202	2203	2204	
	HORIZONTALNO	ROTACIONA						
	VERTIKALNO	POV NORMAL-						
	KOSO	NA NA NBP						
UNUTRAŠNJA CILINDRIČNA	HORIZONTALNO	RAVAN	3000	3001				
	VERTIKALNO	NORMALNA	3100	3101				
	KOSO	NA NBP	3200	3201				
	HORIZONTALNO	ROTACIONA						
	VERTIKALNO	POV NORMAL-						
	KOSO	NA NA						

Slika 3. Način kodiranja pozicioniranja (baziranja) obradaka u priboru.

SEMA STEZANJA	SILA STEZANJA FOLIJAFABRIKATA	POGON STEZAČA							
		RUČNO	PNEUMATSKO	HIDRAULIČNO	ELEKTRO-MEHAČKO	HIDROPLASTIČNO	VAKUMSKI	MAGNETNI I ELEKTROMAGNETNI	KOMBINOVANI
SILA STEZANJA W I SILA REZANJA F SU ISTOS PRAV- CA I SMERA 	DO 800 N	111	112	113	114	115	116	117	118
	DO 1500 N	121	122	123	124	125	126	127	128
	PREKO 2000 N	131	132	133	134	135	136	137	138
SILA STEZANJA W I SILA REZANJA F SU ISTOG PRAVCA A SUPROTNOG SMERA 	DO 800 N	211	212	213	214	215	216	217	218
	DO 1500 N	221	222	223	224	225	226	227	228
	PREKO 2000 N	231	232	233					
SILA STEZANJA W JE NORMALNA NA SILU REZANJA F 	DO 800 N	311	312						
	DO 1500 N	321	322						

Slika 4. Način kodiranja stezanja obradka u priboru.

Polje C1 definiše grupe sklopova, koji sami za sebe mogu biti pribor ili su u sklopu nekog pribora. To su uglavnom standardni sklopovi. Prvo kodno mesto razvrstava sklopove u grupe kao što su: mengele i stezači, čepovi za fiksiranje, pokretni sklopovi, stezne glave itd.

Drugo kodno mesto razvrstava sklopove po obliku i tipu. Treće kodno mesto definiše sklopove prema karakterističnoj dimenziji na osnovu koje se iz tabele priložene uz crtež mogu pročitati i sve ostale dimenzije.

Ako sklopovi predstavljaju kompletan pribor nije potrebno definisati ostale elemente pribora, jer je pribor konstruktivno potpuno odredjen sa poljem C1. Polje C2 definiše izbedbu tela pribora i njegov oblik. Telo pribora je osnovni elemenat pribora koji sjedinjuje sve ostale elemente i prima sva opterećenja koja deluju na obradak u toku obrade. Mora biti krute izvedbe da bi se izbegao uticaj vibracija na tačnost obrade.

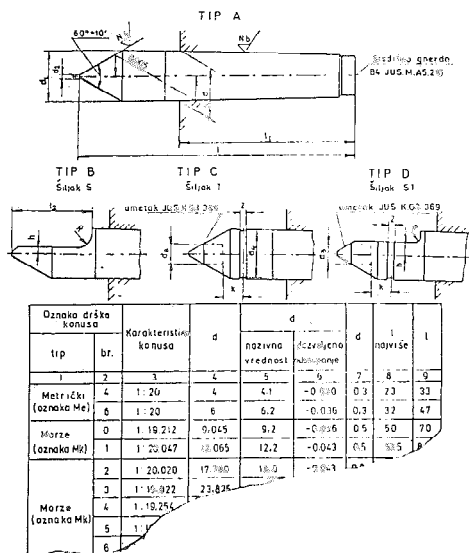
Polje C3 definiše elemente za vodjenje i podešavanje reznog alata. Prvo kodno mesto definiše vrste elemenata za vodjenje, drugo kodno mesto definiše elemente za vodjenje prema obliku, odnosno tipu, a treće kodno mesto definiše elemente za vodjenje prema nekoj karakterističnoj dimenziji.

Polje C4 definiše elemente za pozicioniranje i centriranje. Prvo kodno mesto definiše elemente za pozicioniranje prema vrsti, a druga dva kodna mesta prema tipu i karakterističnoj dimenziji. Na osnovu prethodnih oznaka u potpunosti su deimenzionisani elementi za pozicioniranje i centriranje.

Polje C5 definiše elemente za stezanje. Osnovni elementi za stezanje kombinovanjem daju mehanizam za stezanje. Prema tome, definisanjem osnovnih elemenata, definisan je i mehanizam za stezanje. Prvim kodnim mestom definisana je grupa elemenata za stezanje, drugim tipovima elemenata za stezanje unutar grupe, a trećim kodnim mestom tipovi elemenata za stezanje razvrstani su prema karakterističnoj dimenziji.

U literaturi [1] detaljno je izložen sistem označavanja osnovnih elemenata pribora i definisane neophodne karakteristike elemenata. U radu se na primeru šiljaka za prihvatanje radnog predmeta prikazuje taj princip (slika 5).

SILJAK		TABELA		KODNO MESTO 32 PREMA KARAKTERISTIČNOJ DIMENZIJI	KARAKTERISTIČNOJ DIMENZIJI
K.M.30	JUS	NAZIV ILI TIP	BR.		
K.03.360	K.03.360	TIP A	1	ME 0 1 2 3 4 5 6 ME - - - - - 4 6 20 0 1 2 3 4 5 6 7 8	
		TIP B	2		
		TIP C	3		
		TIP D	4		
		Šiljci sa navrtkom za skidanje	5		
		Teški šiljci sa navrtkom za skid.	6	d 80 100 120 140 20 0 1 2 3	
		Čvrsti šiljci sa uglom od 60°	7	MK 1 2 3 4 5 6 20 0 1 2 3 4 5	



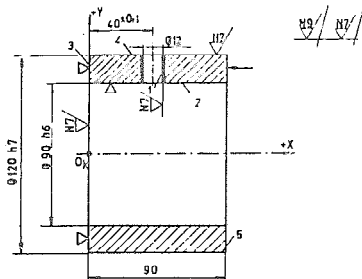
Slika 5. Primer označavanja elemenata pribora.

### 3. PROVERE - PRIKAZ NEKIH MOGUĆNOSTI KLASIFIKATORA

Klasifikator pribora omogućava sistemski prilaz unifikaciji i standardizaciji pribora [3]. Osnovu stvaranja unificiranih konstrukcija čini sistemski analiza tehnoloških operacija obrade i konstrukcija pribora za te operacije. Za grupisanje tehnoloških operacija, a samim tim i konstrukcija pribora, u cilju određivanja zajedničkih konstrukcija na različitim nivoima unificiranosti koristi se blok B klasifikacione oznake. Na osnovu toga je moguće dobiti pribora različitog stepena operativne gotovosti od osnovnog rešenja, baznog rešenja, tipskog rešenja do radnog rešenja.

Za konkretnu tehnološku operaciju obrade (slika 6.) bušenje,

otvora  $\phi 12$  potrebno je izabrati odgovarajuće rešenje konstrukcije pribora.



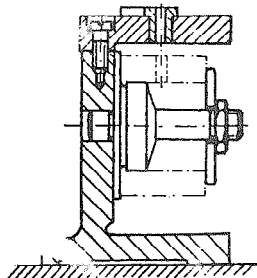
- 1 - obradjivanje površina
- 2 - orjentišuća bazna površina
- 3 - naslona bazna površina
- 4 - slobodna površina
- 5 - površina za stezanje

Slika 6. Crtež operacije obrade.

Na osnovu operacije obrade može se izvršiti klasifikacija pomoću bloka B klasifikatora pribora. Klasifikaciona oznaka, koja definiše potreban pribor je:

B1	B2	B3	B4	B5	B6
201	10	1110	560	554	311

Ulaženjem sa ovim klasifikacionim brojem u banku podataka pribora sa računara se dobijaju odgovarajuće oznake pribora, za osnovnu, baznu, tipsku i radnu konstrukciju pribora. Ovde se za ilustraciju prikazuje skica radne konstrukcije pribora sa ozna-



C1	C2	C3	C4	C5
000	307	123	464	227
	311			406

Slika 7. Skica konstrukcije pribora sa oznakom osnovnih elemenata pribora.

kom osnovnih elemenata pribora (prikazana matrično).

Oznaka pribora A1 je 5. Kod A2 se određuje na osnovu tehnoeconom-ske analize. Za pribor na slici 7. je  $A2 = 6$ . Na taj način dobili smo celu oznaku pribora.

#### 4. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred iznetog mogu se izvući sledeći osnovni zaključci:

1. Razvoj sistema označavanja, posebno klasifikacije omogućava stvaranje sistematizovane banke podataka.
2. Sistem klasifikacije pribora u velikoj meri olakšava unifikaciju i standardizaciju pribora i elemenata pribora.
3. Pomoću dobro razvijenog klasifikatora pribora omogućava se uspešan automatizovani izbor pribora različitog stepena operativne gotovosti: osnovno, bazno, tipsko i radno rešenje pribora.
4. U daljim istraživanjima treba nastaviti rad na usavršavanju prikazanog klasifikatora pribora.

#### LITERATURA

1. Rodić, M., Stankov J., Iskrin B., Banjac, D. i dr.: Klasifikacija, unifikacija, standardizacija i kontrola mehanizama za stezanje i izgradnja neophodne banke podataka, IPM, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1985.
2. Rodić, M.: Automatizovani sistem izbora pribora, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo, IPM - Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1985, br. 2.
3. Rodić, M.: Sistemski prilaz unifikaciji i standardizaciji pribora, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo, IPM - Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1986., br. 3.
4. Rodić, M., Kovač, P., Todić, V.: Banka udajov pri automatizovani proektirovanie narodna, VI Konferencija Nastroje '86, Bratislava, 1986.
5. Seljak, Z.: Klasifikacija orodij naprav in strojev, Seminar 2, FS Ljubljana, 1971.
6. Brankamp, K., Bardeleben, W.: Die Vorrichtungsklassifizierung eine Rationalisierungsmethode im Betriebsmittelbereich, Industrie-anzeiger 92. Ig. 11 v. 6.2.1970.
7. Gorohov, A.V., Proektirovanie i rasčet prisposoblenij, Višejšaja škola, Minsk, 1986.

M.Rodić

S u m m a r y

#### SYSTEM OF FIXTURES CLASSIFICATION AS BASE FOR AUTOMATIC DESIGN AND UNIFICATION OF FIXTURES

In the paper the basic results of development of system for fixtures classification are presented. On the base of developed classification system, it is possible to get information about existing solutions of fixtures from data bank. Unification and standardization of fixtures and their elements on different levels are possible too.





D. Šormaz, D. Sokolović<sup>1</sup>

## ULOGA SIMULACIJE U PROJEKTOVANJU I UPRAVLJANJU

### EFEKTIVNIH PROIZVODNIH SISTEMA

#### 1.0 UVOD

Razvoj računarske tehnike i računarski podržanih postupaka, kao i intenzivna automatizacija različitih delatnosti u oblasti proizvodnje (obrada, montaža, transport, kontrola, projektovanje, upravljanje) usloveli su potrebu produbljenih izučavanja struktura proizvodnje i tokova čijom se realizacijom ona ostvaruje (materijal, informacije i energija). Integracija navedenih postupaka neophodan je uslov za ostvarenje povišenih efekata u proizvodnim sistemima, dok računarski integrisana proizvodnja otvara prostor za kreativan rad (stvaranje novih varijanti i njihovo vrednovanje). Tako računarska integracija omogućuje razvoj EPS-a koji u sebe uključuju integraciju upravljanja radnim sistemom, pripremu proizvodnje, izvođenje procesa rada, hardware, software, bazu podataka i sistem komunikacija za omogućavanje:

- automatizovane proizvodnje promenljivog proizvodnog programa sa direktnim računarskim upravljanjem,
  - optimizaciju u realnom vremenu postupaka terminiranja i kontrole procesa,
  - direktnu kontrolu tokova materijala i operacija obrade i montaže,
  - dinamičku koordinaciju i alokaciju svih proizvodnih resursa
- Složenost postupaka projektovanja i upravljanja EPS-ma kao i

---

mr. Dušan Šormaz, asistent, dip.inž. Dragan Sokolović, str. saradnik, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Industrijske sisteme, Novi Sad, Veljka Vlahovića 3

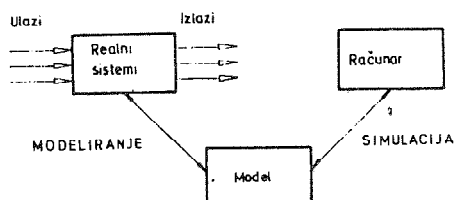
potreba integracije svih sastavnih delova već u fazi projektovanja ukazuje na potrebu korišćenja analitičko-sintetičkih metoda i modeliranje dinamičkih struktura ,što upućuje na neophodnost primene simulacije.

## 2.0 MODELIRANJE I SIMULACIJA PROIZVODNIH SISTEMA

### 2.1 Modeliranje i simulacija

Na osnovu relacije između realnih sistema, njihovih modela i računara (sl.1) razlikujemo [2] :

- modeliranje je aktivnost kojom se određuje struktura realnih sistema kao i relacija između elemenata sistema i opisuju se određenim matematičkim, logičkim ili nekim drugim relacijama. Rezultat ove aktivnosti je dobijanje modela (grafičkog, verbalnog, matematičkog ili logičkog) realnog sistema.

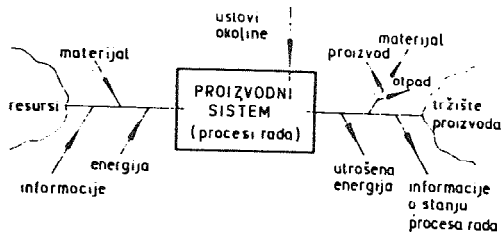


Slika 1. Modeliranje i simulacija

simulacija je aktivnost kojom se primenjuju relacije iz logičko-matematičkog modela sistema, (najčešće jednačine) u cilju izračunavanja dinamičkih promena u modelu u vremenu i izvođenja analogije između tog ponašanja i ponašanja realnog sistema.

### 2.2 Modeliranje

Proizvodni sistemi predstavljaju skup elemenata, relacija između njih i njihovih karakteristika integrisanih u cilju ostvarenja funkcije kriterijuma. U njima se (slika 2) ulazne veličine (materijal, energija i informacije) prema utvrđenim postupcima promene stanja pretvaraju u izlazne veličine (gotove proizvode) i na taj način ostvaruje funkcija sistema. Modeliranje ovih sistema sastoji se u preciznom i jednoznačnom definisanju elemenata U/I



Slika 2. Osnovni model pretvaranja resursa u proizvode veličina (funkcija) i stanja. Komponente modela proizvodnih sistema mogu se svrstati u dve grupe:

- statička struktura sistema koja se sastoji od skupa ulaza  $X$ , stanja  $S$ , izlaza  $Y$  i izlaznih funkcija
- dinamička struktura koja se sastoji od skupa ulaznih trajektorija, funkcije prelaza stanja  $d$  i vremenske funkcije  $T$ .

Statička i dinamička struktura nisu nezavisne. Statička struktura se oblikuje polazeći od verbalnog opisa dinamike sistema. Dinamička struktura sistema, pokazuje na koji način se izvode promene stanja u vremenu i zahteva definisanje funkcije prelaza  $\delta$  i funkcije izlaza  $\lambda$ . Dakle realni sistem ima skup atributa podeljen na dva dela : skup ulaznih veličina i skup veličina stanja. Formalni model takvog sistema ima funkciju prelaza i izlaza :

$\delta$  : stanja  $X$  ulazi ---> stanja

$\lambda$  : stanja  $X$  ulazi ---> izlazi

### 2.3 Simulacija

Na osnovu gore definisanog modela simulacioni program na iterativan način izračunava sve attribute modela. Znajući vrednosti veličina stanja  $y_1, y_2, \dots, y_m$  u trenutku  $t$  i praveći računarski program za pravila ponašanja moguće je izračunati attribute sistema  $y_1', y_2', \dots, y_m', y_{m+1}', \dots, y_n'$  (stanja i izlaze) u trenutku  $t'$ . Računar izvodi sledeći iterativni postupak :

Korak 1: Postavi početne vrednosti lokacija za veličine  $a_1, \dots, a_n$  na  $y_1, \dots, y_n$ .

Korak 2: Postavi vreme (sat) na  $t_0$

Korak 3: Primeni pravila ponašanja na sadržaje lokacija za promenljive stanja, izračunaj nove vrednosti i zadrži ih u tim lokacijama.

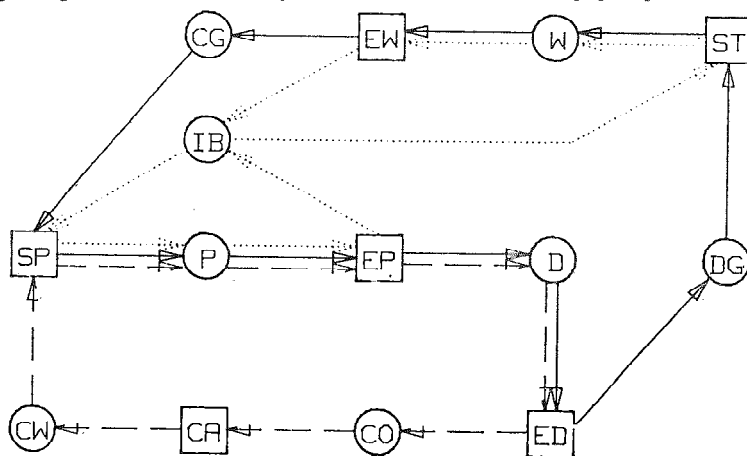
Korak 4: Povećaj vreme na sledeću vrednost

Korak 5: Proveri da li je sat prešao vrednost  $t_k$ . Ako jeste zaustavi izračunavanje, ako nije pređi na korak 3.

U zavisnosti od načina promene koraka 4 u algoritmu razlikujemo:

**SIMULACIJA DISKRETNOG VREMENA**, sadrži u sebi izračunavanje veličina stanja i izlaza u pravilnim vremenskim trenucima. Za svaki korak simulacije izračunavaju se sve komponente funkcije prelaza  $\delta$  i funkcije izlaza  $\lambda$  koje su date kao sistem analitičkih jednačina. Ova metoda se primenjuje za analizu ponašanja sistema i procesas koji menjaju stanje kontinualno u određenom vremenskom periodu.

**SIMULACIJA DISKRETNIH DOGAĐAJA** se koristi za modeliranje sistema čija se stanja menjaju samo u nizu određenih trenutaka u vremenu kao rezultat ponašanja komponenti. Dešavanja datih promena stanja zovu se događaji. Komponente sistema u simulaciji diskretnih događaja se obično zovu jedinke (entities). Modeliranje sistema počinje donošenjem odluke koje jedinke treba uključiti, određivanje skupa mogućih stanja i razmatranje događaja koji uzrokuju za jednu ili više jedinki promenu stanja. Nakon toga se za svaku jedinku crta dijagram životnog puta koji sadrži sva moguća stanja i sve događaje koji uzrokuju promene stanja. Dijagrami životnih puteva za sve jedinke se objedinjuju u dijagram životnih puteva za ceo sistem (sl.3). On je i osnova za izgradnju logičkog modela simulacije odnosno simulacionog programa.



Slika 3. Dijagram životnih puteva

### 3.0 EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANA

Na osnovu projektovane strukture proizvodnog sistema i prostornog razmeštaja elemenata izvodi se modeliranje procesa rada. Pri tome se vrši predviđanje ponašanja procesa na osnovu organizaciono-upravljačkih parametara i ispitivanje (simulacija) ponašanja sistema za različite vrednosti tih parametara. U postupku modeliranja za projektovanu strukturu sistema definišu se osnovni upravljački postupci (dinamičke karakteristike) kao što je [1],[3] određivanje :

- načina prelaza predmeta rada sa operacije na operaciju
- redosleda ulaza predmeta rada u proces rada
- trenutka ulaza predmeta rada u proces rada

Na osnovu tako dobijenih podloga izvodi se simulacija ponašanja procesa rada proizvodnih sistema korišćenjem programskih sistema koji na osnovu informacija o statičkoj i dinamičkoj strukturi projektovanog sistema i definisanom modelu ponašanja obezbeđuju numeričku i grafičku informaciju o radnim karakteristikama projektovanog sistema u datom vremenu posmatranja.

#### 3.1 Simulacija u postupku projektovanja efektivnih proizvodnih sistema

Kod projektovanja efektivnih računarski integrisanih proizvodnih sistema sa različitim nivoima fleksibilnosti i različitim stepenima integracije tokova materijala i informacija potrebno je dati odgovor na sledeća pitanja [4]:

- Koji tehnološki sistemi treba da budu korišćeni ?
- Koji sistem rukovanja alatima može biti iskorišćen ?
- Kako odrediti potreban broj jedinica opreme ?
- Kako odabrati sistem za rukovanje materijalom ?
- Koja pravila terminiranja su odgovarajuća za dati sistem ?
- Kako odabrati sistem za obradu podataka ?
- Kako projektovati sisteme za upravljanje tehnološkim sistemima ?

Sa ciljem da se projektuje sistem koji je sposoban da proizvede definisani proizvodni program, kasnije u vremenu rada sistema potrebno je primeniti postupke upravljanja sa ciljem da se dobije efektivnost sistema koja je bila predviđena u fazi projektovanja u

uslovima stalnih promena uticaja iz okoline. Kod projektovanja EFS-a sa primenom principa grupe tehnologije ustvari se misli na rekonstrukciju. To znači da već postoji bar proizvodni program, ponekad postojeći sistem sa određenim nivoom efektivnosti. Uloga simulacije u projektovanju takvih sistema je da omogući kvantifikaciju povećanja efektivnosti projektovanog sistema.

### 3.2 Simulacija postupaka upravljanja efektivnim proizvodnim sistemima

U ovom slučaju simulacioni model pomaže projektantu da dobije odgovore na sledeća pitanja :

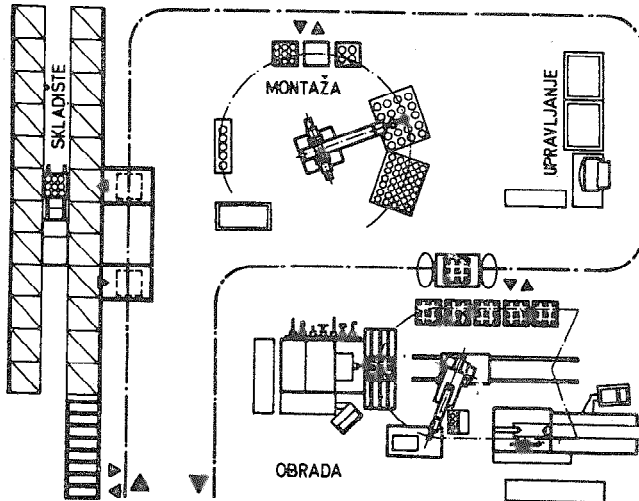
- koji su efekti promene intenziteta upravljačkih akcija
- koji su efekti različitih pravila prioriteta za redosled ulaza naloga u proces rada?
- koji su efekti promene načina izvođenja upravljačkih akcija?
- koji su efekti promene radnog vremena radnika u proizvodnji?

Osnova za dobijanje odgovora na data pitanja su mere efektivnosti različitih upravljačkih postupaka izražene kao učinak sistema, vremena trajanja proizvodnih ciklusa, nivo nedovršene proizvodnje i troškove proizvodnje. Problem redosleda je jedan od važnijih koji se može rešavati simulacijom. Stvarne situacije u proizvodnji uzrokuju nemogućnost primene matematičkih analitičkih modela za rešenje problema redosleda u realnim proizvodnim sistemima. Efekti različitih metoda za određivanje redosleda i pravila prioriteta mogu biti određeni jedino simulacijom.

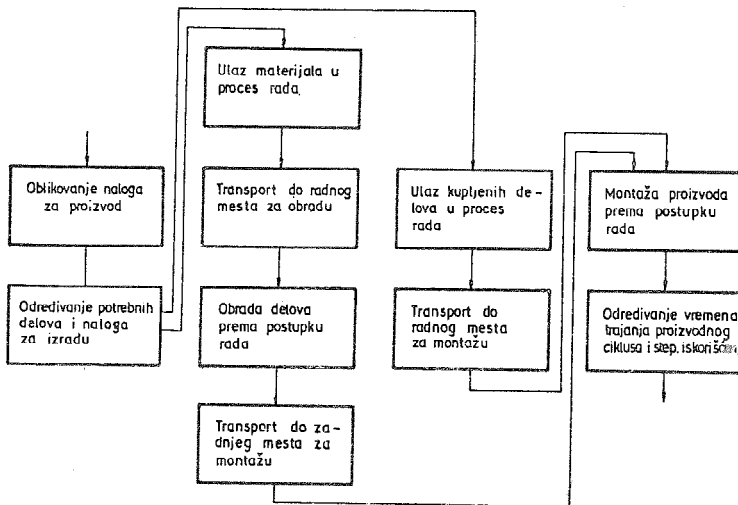
### 3.3 Studija slucajeva

Kao ilustraciju za primenu metoda simulacije u projektovanju i upravljanju EPS-a prikazaće se studija radne jedinice za obradu i montažu operacijske grupe delova koji je u razvoju na IIS-u. On se sastoji (sl. 4) od skladišta, struga i glodalice koji su posluživani robotom, montažnog radnog mesta posluživanog robotom, upravljačke jedinice i sistema za rukovanje materijalom koga čini automatski vođeno vozilo. Na datom sistemu izvodice se eksperimentalna istražavanja računareski integrisanih efektivnih proizvodnih sistema i provera projektantskih i upravljačkih postupaka u njima. Osnovna struktura simulacionog modela za dati

sistem je napravljen koristeći postupak interakcije procesa (sl.5). Analiza dobijenih rezultata je podloga za podešavanje projektovanih parametara sistema i primenjenih upravljačkih postupaka.



Slika 4. Eksperimentalni računarski integrisan PS



Slika 5. Struktura osnovnog simulacionog modela



#### 4.0 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U radu je prikazana primena metoda simulacije u razvoju EPS-a. Podloga za razvoj efektivnih računarski integrisanih sistema je modeliranje projektovane strukture, odnosno njena simulacija pre izvođenja, sa merenjem pokazatelja efektivnosti modela. Potrebna znanja za izgradnju modela i analizu rezultata simulacije ukazuju na neophodnost primene tehnika AI i razvoj ekspertnog sistema za simulaciju proizvodnje.

#### Reference

- [1] D.N.Šormaz, Prilog istraživanju dinamike ponašanja efektivnih proizvodnih sistema, II naučni-stručni skup INDUSTRIJSKI SISTEMI '87, Novi Sad, 28-29 Oktobar 1987
- [2] B.P. Zeigler, Theory of modelling and simulation, John Willey & Sons, New York, 1976
- [3] D.M.Zelenović, I.P.Ćosić, D.N.Šormaz, N.J.Radaković  
The structure of the procedure of modelling the process of production systems, Publications of the School of Engineering Sciences, Vol 18, Novi Sad, 1987, pp.72-83
- [4] D.M.Zelenović, Projektovanje proizvodnih sistema Naučna knjiga, Beograd, 1987

D.Šormaz, D.Sokolovic

#### THE ROLE OF SIMULATION IN EFFECTIVE PRODUCTION SYSTEM DESIGN AND MANAGEMENT

#### S U M M A R Y

*The use of simulation methods in the development of effective manufacturing systems is shown. The basis for designing computer integrated manufacturing systems is the dynamic modelling of their structure and simulation with the measurement of effectiveness attributes: production rate, utilization, WIP level. The tasks of model development, experiment design and analysis and decision making show the need for their knowledge expertise. The development of knowledge based simulation is the condition for an integrated approach to manufacturing system design and control and their development.*

SIMULACIJA FABRICKOG POSTROJENJA SA TRANSPORTOM  
UZ POMOC VISE VOZILA NA PRIMERU FABRIKE ZA IZRADU  
VISESLOJNIH STAMPANIH PLOCA

\* Grozda Petrovska, Vesna Nedeljković, Mihahlo Hovanec

1. UVOD

U clanku je opisan simulacioni model pogona (fabrike) za izradu viseslojnih stampanih ploca koji predstavlja fleksibilni proizvodni sistem (FMS) u kome se transport materijalnih sredstava obavlja sa vise induktivno vodjenih vozila (kolica).

Koriscena je druga verzija GPSS -F simulacionog paketa. Modelom je omoguceno razresavanje problema vezanih za :

- odredjivanje optimalnog kapaciteta ulaznih i izlaznih skladista i medjuskladista pojedinih odeljenja u kojima se vrse odredjene operacije proizvodnog ciklusa (nagrizanje, spajanje pojedinih slojeva u jedinstvenu ploču, busenje itd),

- odredjivanje kapaciteta masina odnosno proizvodne opreme unutar odeljenja gde se izvode pojedine tehnoloske celine proizvodnog ciklusa,

- odredjivanje optimalnog broja vozila i trasa njihovog kretanja kojima se obavlja celokupan transport svih materijalnih sredstava potrebnih za obezbedjivanje kontinuiteta proizvodnog ciklusa.

2. OPIS SISTEMA

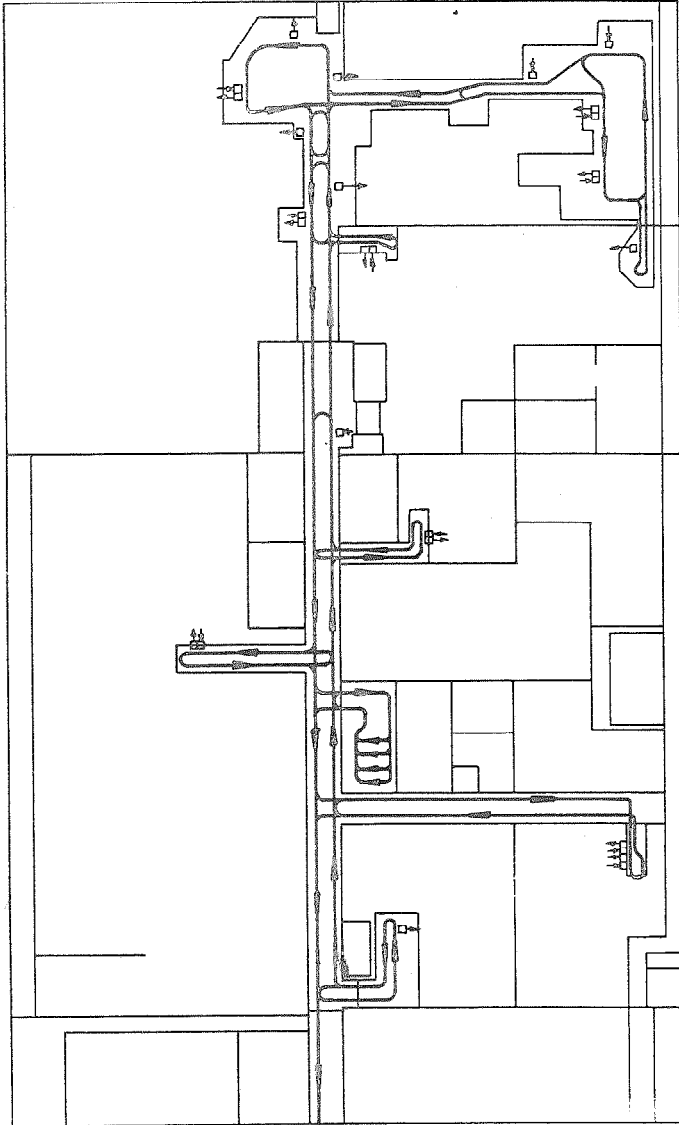
Fabniku (pogon) za izradu viseslojnih stampanih ploca (sl.1) cine proizvodna odeljenja u kojima se vrse odredjeni procesi obrade kako pojedinačnih slojeva tako i kompletiranih viseslojnih stampanih ploca, sto je odredjeno tehnologijom izrade stampanih ploca.

U operacije vezane za pojedinačne slojeve spadaju: secenje materijala, priprema materijala, busenje repera, nanosenje fotorezista na ploču, otiskivanje lika na ploču, nagrizanje, scovanje, itd.

Nakon operacije spajanja svih pripremljenih slojeva, vrši se završna obrada viseslojne stampane ploče koja obuhvata: busenje, metalizaciju, nanosenje zastitnog sloja, kontrolu, itd.

Operacije se izvode u odeljenjima koja mogu da imaju ulazna, izlazna i medjuskladista. Ploče se dopremaju u ulazna skladista gde ostaju dok se ne oslobodi proizvodna oprema (masine) unutar odeljenja. Kada se završi obrada, ploče se smestaju u izlazna skladista ili medjuskladista zavisno od toga

\*/Grozda Petkovska, dipl.ing., saradnik Lola Instituta, Beograd  
Vesna Nedeljkovic, dipl.ing., saradnik Lola Instituta, Beograd  
Mihajlo Hovanec, dipl.ing., visi saradnik Lola Instituta, Beograd



sl.1. Lay-out fabrike za izradu visestojnih stampanih ploca sa neznacenim transportnim putevima

da li se prenos u naredno odeljenje vrši koriscenjem induktivno vodjenog vozila, ili su odeljenja jedno pored drugog gde se ploce prenose direktno iz medjuskladista jednog u ulazno skladiste drugog. Dakle, ploce ostaju u skladistima ako su potrebni resursi zauzeti, i to u ulaznom skladistu ako je proizvodna oprema u okviru datog odeljenja zauzeta, u medjuskladistu ako je ulazno skladiste odeljenja gde treba da se obavi naredna operacija zauzeto, i u izlaznom skladistu, ako nije slobodno ulazno skladiste narednog (udaljenog) odeljenja i dok se ne obezbedi slobodno vozilo. Vozilima se prenose setovi do dvadeset ploca.

U okviru jednog odeljenja moze da postoji vise istovetnih stanica obrade (npr. vise istih masina za busenje), tako da istovremeno moze da se obradjuje vise slojeva ili kompletiranih stampanih ploca.

Transport setova pojedinačnih slojeva i kompletiranih viseslojnih stampanih ploca se izvodi pomocu vise induktivno vodjenih vozila. Odluku koje ce vozilo izvršiti neki transport donosi nadredjeni racunar koji daje zadatke racunarima koji upravljaju vozilima.

Kriterijum za donosenje odluke je odabiranje najblizih slobodnih kolica mestu odakle treba da se preuzme set stampanih ploca (u slucaju da ih ima vise bez zadatka). Putanje kretanja se uvek biraju po kriterijumu najkraceg rastojanja (trase kretanja kolica dozvoljavaju da se iz jedne u drugu zaustavnu tacku moze doći na vise razlicitih nacina). Zaustavnim tackama se smatraju pozicije ulaznih i izlaznih skladista.

U slucaju da se na odabranoj putanji kretanja vozila nalazi neko vozilo bez zadatka onda se ono salje u neku slobodnu zaustavnu tacku.

### 3. OPIS PROGRAMA

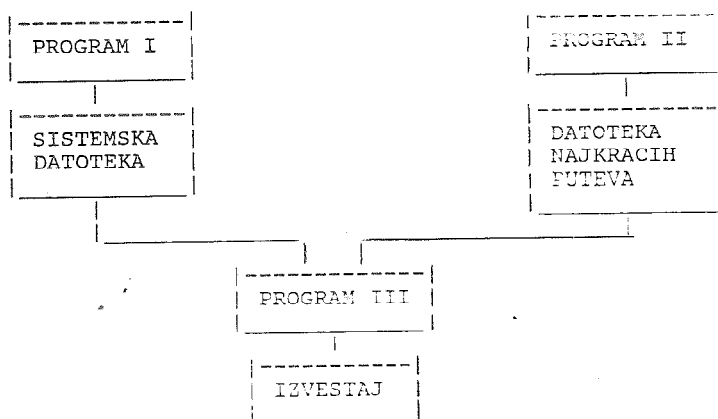
Na slici 2 data je struktura razvijenog softvera koji cine tri programa.

Osnovna funkcija PROGRAMA I je pocetno definisanje karakteristika sistema i trasa obrade slojeva, odnosno kompletiranih stampanih ploca sto podrazumeva:

- definisanje kapaciteta svih ulaznih, izlaznih i medjuskladista,
- definisanje pozicije ulaza i izlaza svih odeljenja,
- definisanje kapaciteta odeljenja sto podrazumeva broj istovetnih stanica obrade u okviru svakog od njih,
- definisanje transportnog sistema (ukupan broj transportnih vozila, srednja brzina vozila, pocetne pozicije vozila), itd.

Tehnoloski postupak izrade stampanih ploca ugradjen je u tzv. trase obrade koje se daju za svaki sloj posebno kao i za kompletirane stampane ploce. To se pre svega postize definisanjem redosleda odeljenja gde se vrše pojedini zahvati obrade i vremena obrade unutar svakog odeljenja. Svi ovi podaci se nalaze u SISTEMSKOJ DATOTECI i predstavljaju ulazne podatke za PROGRAM III.

PROGRAM I omogucava i jednostavnu i laku izmenu kako pojedinačnih tako i grupa podataka u vec formiranoj SISTEMSKOJ DATOTECI.



Sl.2 Programska struktura

DATOTEKA NAJKRACIH PUTEVA predstavlja izlaz iz PROGRAMA II. Ova datoteka sadrži podatke o ukupnom broju zaustavnih mesta na putu kolica i broju definisanih segmenata, duzinama svih segmenata redom, kao i najznacajnije informacije o redoslednim sekvencama (trasama) najkracih puteva izmedju svaka dva zaustavna mesta u zadatom lay-out-u FMS-a, redom po segmentima koje treba kontrolisati da bi se saobracaj u FMS-u odvijao bez kolizija.

Lay-out fabricke hale definise se pomocu orijentisanog grafa, gde cvorovi predstavljaju zaustavna mesta za kolica i raskrsnice, a grane - putanje koje ih direktno povezuju.

Odredjivanje najkracih puteva izmedju zaustavnih mesta izvodi se na osnovu algoritma za odredjivanje k najkracih puteva [2]. Ovaj algoritam, polazeci od nekog pretpostavljenog vektora ocena duzine k najkracih puteva koji povezuju posmatrani cvor sa zadatim pocetnim cvorom, metodom dvostrukog pretraživanja sukcesivno smanjuje ocene, pa se kao rezultat konacnog broja iteracija stvara optimalni vektor ocena; a zatim odredjuju i sekvence cvorova k najkracih puteva.

Na osnovu ovog rezultata odredjuje se i sekvenca segmenata (cvorovi, grane - naizmenicno) koji ucestvuju u najkracem putu, sto ce omoguciti precizno zauzimanje (vremensko) segmenata i time pravilnu kontrolu saobracaja u posmatranom lay-out-u.

Glavni program, PROGRAM III, je model sistema koji prati dijagram toka vezan za kretanje stampanih ploca kroz pogon koje je odredjeno tehnologijom izrade. Program koristi GPSS -F simulacioni paket [1] (General Purpose Simulation System - FORTRAN).

PROGRAM III obezbedjuje sinhronizaciju celokupnog sistema, postovanje zadatah kriterijuma pri izboru transportnog vozila za obavljanje nekog zadatka, izbegavanje kolizija u saobracaju, itd. Obzirom na tehnologiju proizvodnog procesa izrade stampanih ploca, model obezbedjuje nezavisno kretanje i obradu svakog sloja stampane ploce ponaosob, a zatim, nakon spajanja

svih slojeva i završni ciklus obrade za kompletiranu viseslojnu stampanu ploču.

PROGRAM III određuje koja kolica treba da dobiju zadatak, a zatim koristeći podatke iz DATOTEKE NAJKRACIH PUTEVA kojom trasom treba da se kreću kolica.

Obradne stanice u okviru jednog odeljenja predstavljene su kao multistanice. Kapacitetom multistanica definise se broj istovetnih stanica obrade u okviru jednog odeljenja.

#### 4. ANALIZA IZLAZNIH REZULTATA

Pre analize izlaznih rezultata treba imati na umu značajne faktore koji određuju njihov kvalitet i u krajnjem slučaju upotrebljivost. Najvažnija komponenta tumačenja izlaznih rezultata je pravilno vremensko (diskretno) parametrisanje procesa i to tako da oni najpribližnije odgovaraju realnim procesima u sistemu. Proces koji se vremenski parametrizuju su na primer:

- operacije na masinama (odeljenjima),
- izvršenje transportnog zadatka (funkcija brzine, ubrzanja, usporjenja i dužine puta transportnog sredstva)
- otkazi opsluznih stanica i njihova klasifikacija (odeljenja, masine i transportnog sredstva) i dr.

Stvarni procesi se uvek odvijaju u različitim vremenskim intervalima koji imaju manju ili veću disperziju oko neke srednje vrednosti i da bi se jedan proces pravilno parametrizovao treba odrediti najpribližniji oblik funkcije raspodele vremena njegovog trajanja (Erlangova, normalna, eksponencijalna itd.) kao i koeficijente te raspodele. Pojedni procesi imaju malu disperziju i mogu se relativno tačno parametrizovati (automatski ciklusi bez otkaza - neki program na NC masini), dok su neki teško predvidivi i često predstavljaju iskustvene kategorije sa relativno velikom disperzijom. Tipičan primer za to su različiti otkazi u tehničkim sistemima. U ovom slučaju (fabrika za izradu stampanih ploča) nisu postojale nikakve informacije o otkazima (uzroci pojave i vreme potrebno za njihovo otklanjanje) vezanim za transportna kolica i masine u odeljenjima. Ti podaci se najsigurnije mogu odrediti snimanjem stvarnih procesa u pogonu i tek onda parametrizovati, ili ako se procesi kompletno vode pomoću računara (fleksibilne ćelije ili fabrike bez ljudi) analizom protokolarnih datoteka. U ovom primeru relativno lako su određeni parametri transportnih zadataka (poznate tehničke karakteristike kolica i dužine puteva) i zadataka na masinama uzevši u obzir podatke koji su predviđeni u tehnološkom postupku izrade. Zbog svega rečenog rezultate treba posmatrati kao gornju tehničku mogućnost sistema koja se ne može povećati (realno je sa otkazima produktivnost ili izlaz gotovih proizvoda uvek manji).

Izlazni podaci iz ovog programa su razni statistički podaci. Za svako odeljenje daju se redovi čekanja za ulazno, izlazno i međuskladiste. Redovi čekanja se daju i za ulaz-izlaz iz pogona, za čekanje na transport i sam transport, a opisani su sledećim parametrima:

- trenutna dužina reda,
- maksimalna dužina reda,
- ukupan broj pristupa,
- ukupan broj izlaza,







Na slici 5 prikazan je histogram raspodele vremena izlaza između dva gotova proizvoda. Srednja vrednost ove funkcije i disperzija ukazuju kakva je produktivnost kompletnog pogona. Ukoliko se fiksira broj resursa a bavi se problemom rasporeda opreme, onaj raspored koji daje najmanju srednju vrednost i disperziju "takta izlaza" je i najbolji.

Za svako od odeljenja daju se redovi kao na slici 6. Na osnovu duzine reda za skladista utvrđuje se da li je potrebno povećati ili smanjiti kapacitet pojedinih odeljenja (masina, kontrolnih mesta i sl.) kao i konacno utvrditi kapacitete skladista, s tim sto uvek treba imati u vidu koliko kosta povećanje ili smanjenje pojedinih kapaciteta.

Ovi i slicni izvestaji se uvek moraju posmatrati kao celina za razlicite uslove eksperimenta i zakljuci koji se izvode daju prave i racionalne odgovore na tri gore navedena kljucna pitanja, stalno imajući na umu visefaktornost sistema.

## 5. ZAKLJUČAK

Opisanim modelom mogu se simulirati fabricka postrojenja u kojima postoje definisani tehnoloski postupci izrade pojedinačnih elemenata (ili sklopova) kao i tehnoloski postupci izrade kompletnih proizvoda. Ovakvom simulacijom moguće je optimizirati potrebne kapacitete za izvodjenje određenih tehnoloskih operacija, potrebne skladisne kapacitete, kao i broj angazovanih transportnih sredstava, trasa njihovog kretanja, itd.

Razvijeni softver se u fazi projektovanja pogona može koristiti za definisanje lay - out -a pogona, odnosno rasporeda kompletne tehnoloske i transportne opreme.

## Reference:

- [1] Schmidt, B., GPSS-FORTRAN. John Wiley & Sons, 1980
- [2] Phillips, D., Garcia-Diaz, A., Fundamentals of Network Analysis, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1981 (na ruskom)

Grozda Petkovska, Vesna Nedeljkovic, Mihajlo Hovanec

### SIMULATING A FACTORY PRODUCTION PROCESS WITH AUTOMATED GUIDED VEHICLES ON THE EXAMPLE OF THE MULTILAYER PRINTED BOARDS FACTORY

#### SUMMARY

Paper presents a simulation model of a workshop (factory) for the production of multi-layer printed circuit boards, which represents a flexible manufacturing system (FMS). Such simulation enables the optimization of required capacities for particular technological operations, of required buffer capacities, number of engaged transport vehicles, their trajectories, etc. Developed software can be used in the designing phase for defining a workshop lay-out, i.e. the disposition of the complete technological and transport equipment.

Rajko Vulin, Mirko Cvjeticanin, Sanda Car

EXPERT-LIKE SISTEM FLEKSIBILNIH OBRADNIH SISTEMA PRVOMAJSKA

1. UVOD

Fleksibilni proizvodni sistem sastoji se od niza numericki upravljanih alatnih i drugih strojeva, sistema privremenih odlagalista, montažno-demontažnih stanica međusobno povezanih sistemom transporta. Radom sistema upravlja programsko rješenje pohranjeno u nadzornom racunalu. Buduci je projektiranje i izrada fleksibilnih sistema, kao i programskih rješenja za vođenje tih sistema bazirana na modularnoj građi, ista treba uz minimalne promjene omogućiti proširenje i nadogradnju sistema u sklopovskom i programskom smislu. Dodavanje novih elemenata u sistem ne narušava koncepciju rješenja već zahtjeva nadopunu postojećeg. Fleksibilni proizvodni sistem je takav vid investicijske opreme koja zahtijeva visoka ulaganja te se njegovoj izgradnji pristupa uz detaljne analize tehnickih zahtjeva koji se pred sistem postavljaju i koji sistem treba da zadovolji, kao i analize ekonomske opravdanosti. Procesu izrade fleksibilnog sistema u SOUR Prvomajska predhodi faza projektiranja koja je zasnovana na korištenju tzv. "expert-like" sistema.

\*/ Rajko Vulin, dipl.ing. elektrotehnike, poslovi na razvoju programske podrške upravljanja fleksibilnim proizvodnim sistemima SOUR Prvomajska RO IRI, Zitnjak bb, Zagreb

dr. Mirko Cvjeticanin, dipl.ing strojarstva vanredni profesor VVTS-KoV JNA, Zagreb, potpredsjednik za razvoj proizvoda i proizvodnje SOUR-a Prvomajska, SOUR Prvomajska. Zitnjak bb, Zagreb

Sanda Car, dipl.ing. elektrotehnike, poslovi na razvoju programske podrške upravljanja fleksibilnim proizvodnim sistemima SOUR Prvomajska RO IRI, Zitnjak bb, Zagreb /\*

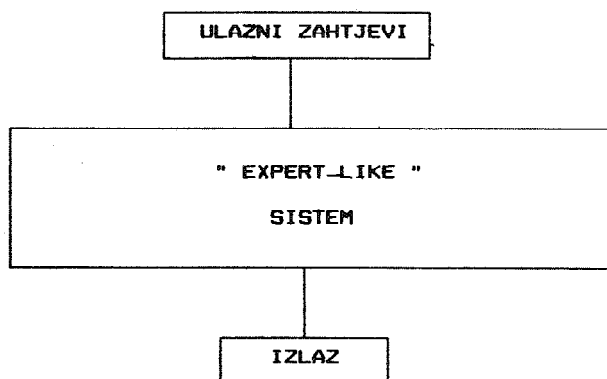
Sistem se sastoji od baze znanja s pohranjenim podacima o:

- tehnologiji izvedivoj na strojevima koji ulaze u sistem,
- tehničkim karakteristikama radnih i ostalih jedinki,
- grafičkim prikazima dijelova fleksibilnog sistema,
- ekonomskim pokazateljima.

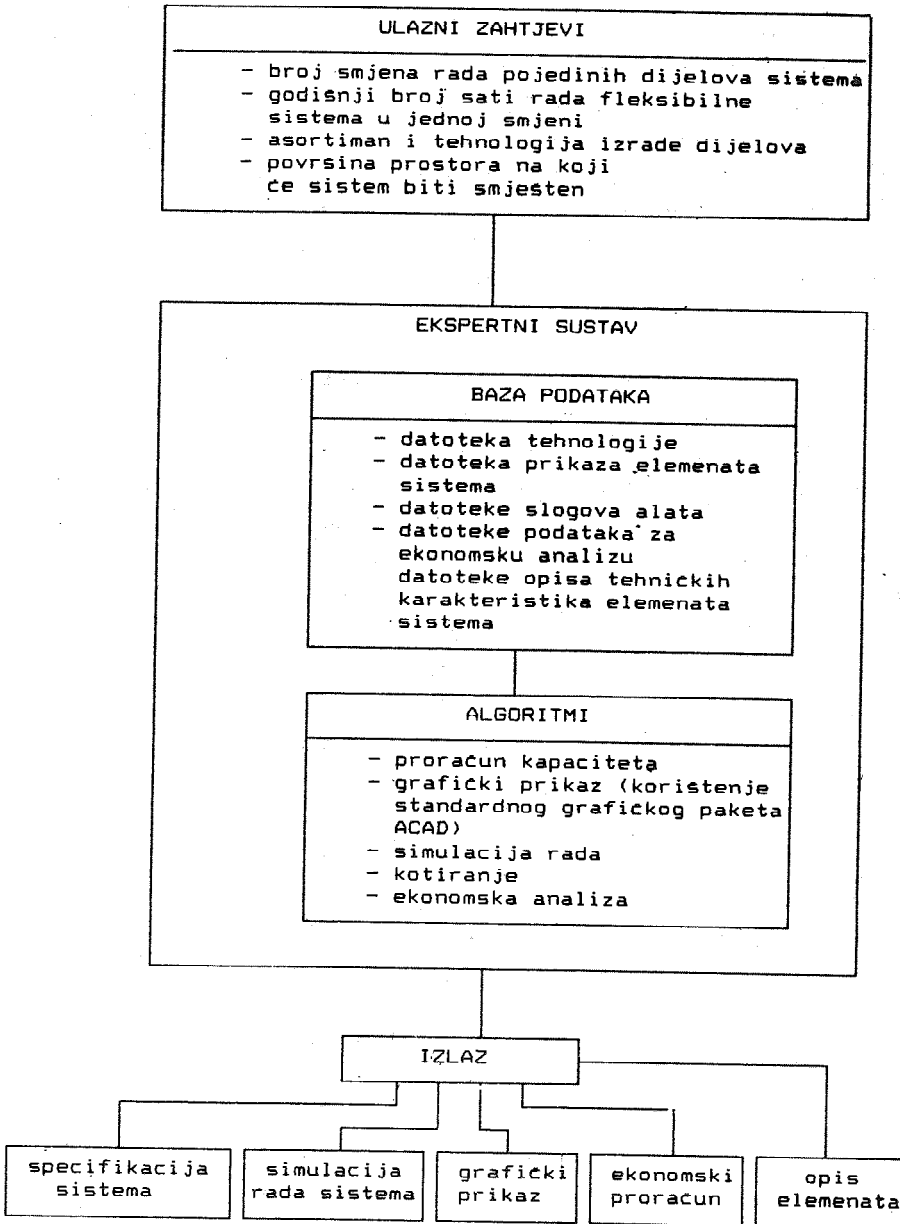
Na temelju postojeće baze znanja, te odgovarajućih algoritama, sistem treba odgovoriti na tražene zahtjeve. Rješenja koja se nude su optimalna rješenja, bazirana na zahtjevima naručioca i mogućnostima radnih jedinki. Rad sa sistemom je interaktivan što znači da je uvjete, koje sistem mora zadovoljiti u radu, moguće mijenjati tokom proračuna.

## 2. "EXPERT-LIKE" SISTEM

"Expert-like" sistem na temelju postojeće baze znanja, a pomoću odgovarajućih algoritama nudi optimalno rješenje sadržaja fleksibilnog proizvodnog sistema. Stoga je u bazu znanja neophodno uključiti podatke o tehničko-tehnološkim karakteristikama elemenata sistema, grafičkim prikazima elemenata i svim neophodnim podacima za ekonomsku analizu. Globalno rješenje sistema prikazano je slikom 1.



Slika 1. Makro prikaz cjelokupnog rješenja



Slika 2. Prikaz dijela "expert-like" sistema za projektiranje fleksibilnog sistema

Ulazni podaci predstavljaju, uglavnom, zahtjeve naručioca fleksibilnog sistema i odnose se na tehnicke, prostorne i organizacione

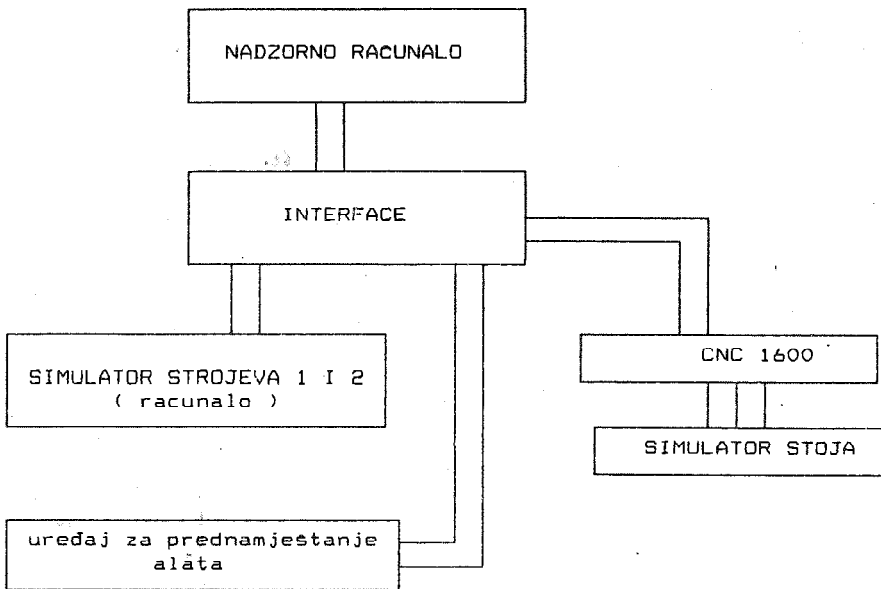
uvjete koje sistem mora zadovoljiti. Izlaz predstavlja ponudena rješenja kao posljedicu ulaznih zahtjeva. Rješenja moraju biti takva da se bez velikog proučavanja uoče glavne karakteristike i mogućnosti predloženog rješenja. Prikaz cjelokupnog rješenja na kojem se vide mogući ulazni zahtjevi, struktura ekspertnog sistema i izlazna rješenja prikazana je slikom 2. Kao jedan od izlaznih rezultata je grafički prikaz sistema na kome se može uočiti prostorni raspored radnih jedinki.

### 3. IZRADA I TESTIRANJE PROGRAMSKE PODRSKE

Na temelju konačne specifikacije sistema i simulacije rada pristupa se izradi programske podrške upravljanja sistemom. Programska podrška piše se modularno. Jezgru programske podrške za upravljanje fleksibilnim sistemom čini rješenje problema upravljanja transportom. Transportno sredstvo (kolica) se putem vlastite upravljačke jedinice uključuju u sistem. Upravljačka jedinica kolica mora ispunjavati određene uvjete. Oni se odnose na:

- mogućnost komuniciranja prema nadzornom računalu,
- sposobnost samostalnog izvršavanja zadanih naredbi (vožnja kolica na poziciju, utovar, istovar, pretovar)
- sposobnost identifikacije broja palete na kolicima i
- identifikaciju zauzetosti stanica za odlaganje, montažno-demontažne stanice te uređaja za izmjenu paleta.

Ispunjavajući ove uvjete upravljačka jedinica kolica može dostaviti sve podatke potrebne centralnom programu za upravljanje radom sistema. Može se reći da optimalno riješen sistem transporta u velikoj mjeri osigurava i optimalan rad cjelokupnog sistema. Međutim, bitnu ulogu u sistemu igra optimalan rad strojeva. Nadzorno računalo upravlja radom strojeva preko njihovih upravljačkih jedinica. Upravljačke jedinice strojeva, kao i upravljačka jedinica kolica, moraju moći samostalno izvršavati postavljene zadatke od strane nadzornog računala i u isto vrijeme dostaviti sve podatke potrebne centralnom programu koji upravlja cjelokupnim sistemom. Na ta rješenja nadograđuju se još rješenja za projektiranje tehnologije, upravljanje sistemom alata i sl.



Slika 3. Konfiguracija sistema za simulaciju

Budući je vrijeme rada strojeva skupo, testiranje programske podrške obavlja se u uredskim uvjetima. Konfiguracija sistema za simulaciju prikazana je slikom 3. Obrada pozicija na strojevima traje po nekoliko sati i ne bi bilo praktično čekati da obrada završi. Stoga sistem za simulaciju umjesto strojeva koristi računala. Dužinu trajanja "obrade" moguće je programski mijenjati, te se time program za upravljanje sistemom testira u mnogo strožim uvjetima nego što će oni biti u stvarnom radu. Ako program, u ovakvim uvjetima, stige obraditi sve informacije i poduzeti odgovarajuće akcije sigurno je da programsko rješenje zadovoljava. Pomoćno računalo simulira rad dva stroja, programski, dok CNC 1600 simulira rad stroja i sklopovski i programski.

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan pristup projektiranju i izradi programske podrške za upravljanje radom fleksibilnog proizvodnog sistema. Za potrebe projektiranja sistema načinjen je "expert-like" sistem u kojem je objedinjeno niz programskih rješenja. Programska

rješenja su povezana tako da izlazni podaci jednog programskog rješenja služe kao ulazni podaci sljedećih programskih rješenja. Na primjer, izlazni podaci specifikacije sistema služe kao ulazni podaci za grafičku prezentaciju, a podaci dobiveni simulacijom služe za grafičku simulaciju rada sistema. Testiranje centralnog programa, program za upravljanje radom sistema, obavlja se simuliranjem rada sistema čime se programsko rješenje ispituje u različitim režimima rada. "Expert-like" sistemom ubrzava se projektiranje i proračun ekonomske opravdanosti sistema, a testiranje rada u uredskim uvjetima osigurava brzi prijenos programskog rješenja iz ureda u pogon.

#### Reference

(1.) T.K. Kundra, P.N. Rao, N.K. Tewari: Numerical Control and Computer Aided Manufacturing, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1985, New Delhi

(2.) M.Cvjetičanin, R.Vulin, Z.Đurašević: Pristup rješenju programske podrške upravljanja transportom fleksibilnog proizvodnog sistema, IX međunarodno savjetovanje BIAM '88 Zagreb, 13-15. 6. 1988, Zbornik Radova JUREMA 33(1988), Svezak 4

R. Vulin, M. Cvjetičanin, S. Čar

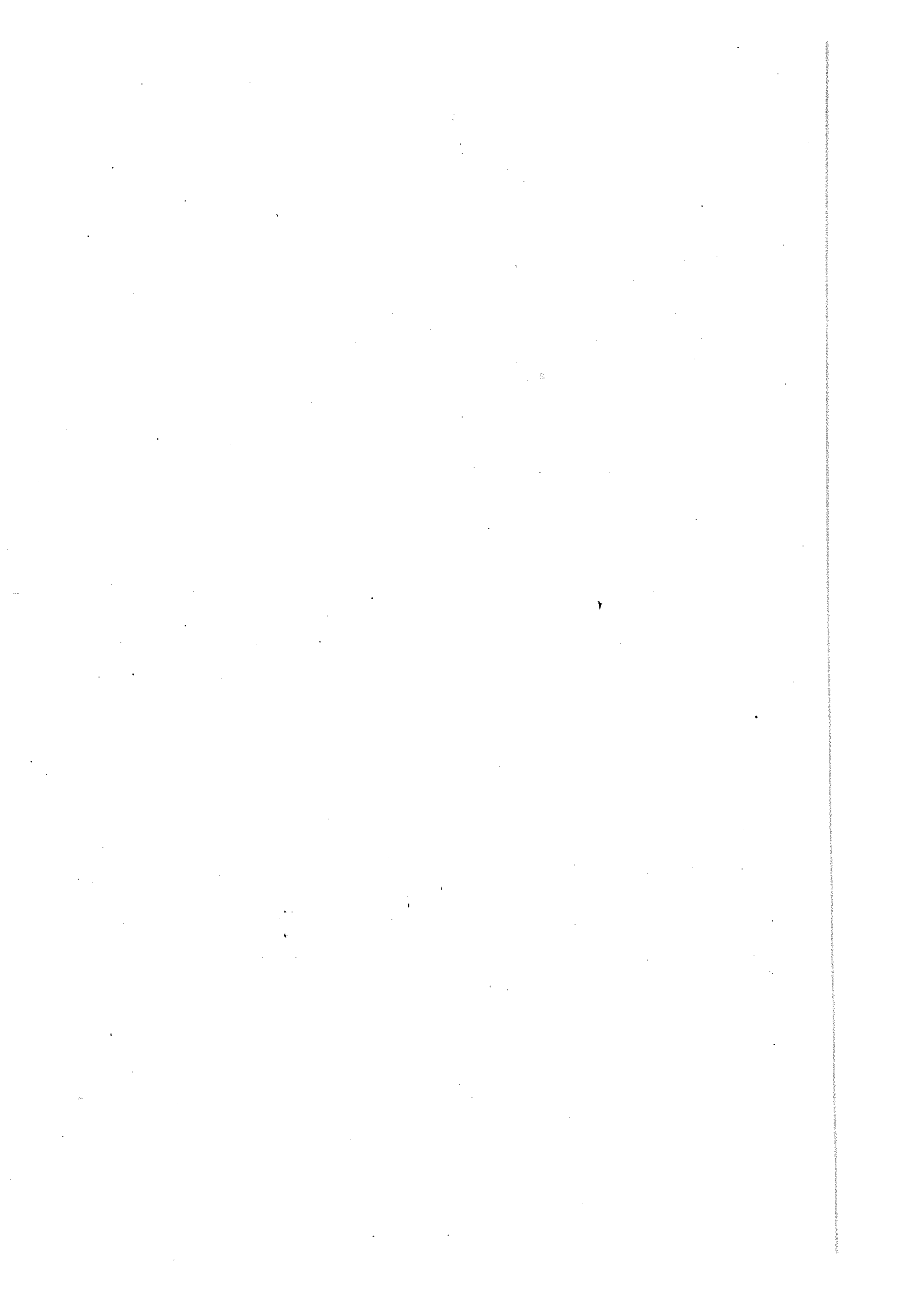
EXPERT LIKE SYSTEM OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM OF PRVOMAJSKA

#### S u m m a r y

In this paper an approach to the software development for design and control of flexible manufacturing system is presented. Software solution is based on "calculation" of the system's contents, lay out of working units, simulation of work, calculation of system's economical justifiableness and possibility of testing the software for control in the real time. Entire solution of these tasks is established on development and

use of suitable "expert-like" system. Knowledge base is made of a range of technological, graphical and economical databases and database that contains descriptions of flexible system elements. Mentioned elements can be changed and extended.





Z. Kunica<sup>+</sup>

EKSPERTNI SISTEM ZA DEFINIRANJE FUNKCIONALNE  
STRUKTURE AUTOMATSKIH MONTAŽNIH SISTEMA

1. UVOD

Ljudski rad, koji se odvija na određenom stupnju razvoja društva, uvijek je neproduktivan, gleda li se u svjetlu suvremenih tehnoloških dostignuća. Shodno tome, praćenje tekovina napretka tehnologije iziskuje stalno prevrednovanje i mijenjanje postojećih djelatnosti i metoda rada.

Djelatnost projektiranja automatskih montažnih sistema, intenzivira se izazvana sve većom brzinom promjena na tržištu. Intenzifikacija djelatnosti popraćena je gomilanjem postojećih i novih znanja, nosilac kojih je čovjek. Efikasno i racionalno korištenje raspoloživog znanja, zahtijeva njegovu objektivizaciju u obliku pogodnom ne samo za predstavljanje i eksploataciju, već i stalnu nadogradnju. Taj oblik su ekspertni sistemi.

2. AUTOMATSKI MONTAŽNI SISTEMI

Rad na formiranju ekspertnog sistema započinje ovladavanjem znanjima koja se njime žele obuhvatiti. U ovome slučaju to su znanja iz područja projektiranja automatskih montažnih sistema. Spomenutim je područjem obuhvaćeno [1]: a) definiranje i analiza montažnog zadatka; b) definiranje redoslijeda sklapanja; c) izrada funkcionalne strukture montažnog sistema; d) izrada principijelnih tehničkih rješenja montažnog sistema; e) izbor najpovoljnijih varijanti tehničkih rješenja, s gledišta funkcionalnosti, ekonomičnosti, fleksibilnosti i zahtjeva okoline.

Montažni zadatak definiran je dijelovima koji će se montirati i tehnikama kojima će dijelovi biti spojeni. Osnovna je intencija analize montažnog zadatka provjera tehnoložnosti konstrukcije sa stajališta montaže. Tehnoložnost se konstrukcije,

<sup>+</sup>Zoran Kunica, dipl. inž. strojarstva, pripravnik-postdiplomand, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu, Đure Salaja 7, 41000 Zagreb

pored ostaloga, očituje u mogućnosti tvorbe ugradbenih grupa i njihovom zasebnom ispitivanju (kontroli).

Redoslijed sklapanja proizlazi iz konstrukcijski zahtijevanog međusobnog položaja dijelova. Definiranim ugradbenim grupama moguće je postići paralelni način sklapanja (proces montaže).

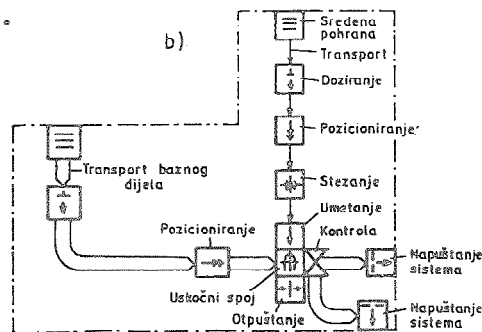
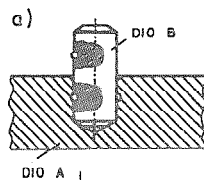
Funkcionalnom strukturom montažnog sistema određene su sve potrebne operacije rukovanja, spajanja i kontrole tokom procesa montaže.

Pri izradi se principijelnih tehničkih rješenja montažnog sistema, za svaku operaciju naloženu funkcionalnom strukturom, ili za nekoliko njih zajedno, po metodi morfološke kutije, utvrđuje više mogućih tehničkih rješenja.

Na FSB-u u Zagrebu razvijeni su programi za ispitivanje mogućnosti definiranja ugradbenih grupa unutar konstrukcije, i za određivanje redoslijeda sklapanja [2,3], čime je, u skladu s metodologijom projektiranja, otvoren put za formiranje ekspertnog sistema za definiranje funkcionalne strukture, kao dijela budućeg većeg sistema za cjelovito projektiranje.

### 3. FUNKCIONALNA STRUKTURA AUTOMATSKIH MONTAŽNIH SISTEMA

Funkcionalna struktura automatskih montažnih sistema predstavlja se funkcionalnim planom montaže [4]. Funkcionalni plan montaže je simbolički (grafički) prikaz operacija rukovanja potrebnih za [5]: a) pripremu dijelova i njihovo dovođenje do radnog položaja, b) postavljanje dijelova u radni položaj, c) otpremu sklopa<sup>1</sup> iz radnog položaja. Planom su obuhvaćene i operacije spajanja, pomoćne operacije, te kontrola.



Sl.1 Funkcionalni plan montaže (b) za prikazani montažni zadatak (a)

1. "Ugradbena grupa" je termin vezan uz promatranje ili formiranje skupine dijelova unutar konstrukcije, s aspekta tehnologije montaže. Pojam "sklopa", pak, odnosi se na stajalište konstrukcije, dok ga se ovdje upotrebljava u smislu produkta neke faze montaže ugradbene grupe.

Funkcionalni plan formira se na osnovu: a) načina spajanja (montaže) dijelova (tehnika, redoslijed, međusobni položaj spojenih dijelova), b) karakteristika dijelova (oblik, dimenzije, materijal, dobavno stanje<sup>2</sup> (sređeno-nesređeno)).

Mentalne aktivnosti tokom izrade funkcionalne strukture, vezane su uz rješavanje niza problema koji se ne mogu zadovoljavajuće analitički definirati. Uz to, često je potrebno za neki problem iznaći i ispitati više alternativnih rješenja. Ekspertnim sistemom moguće je obuhvatiti značajan dio navedenih aktivnosti, čime se stručnom osoblju pruža prilika za kreativniji (produktivniji) rad.

#### 4. OSNOVE EKSPERTNOG SISTEMA ZA DEFINIRANJE FUNKCIONALNE STRUKTURE

##### 4.1 Ekspertni sistemi

Ekspertni sistem je kompjutorski sistem kojemu je svrha da, u interakciji s korisnikom, donosi jednako dobre, ili bolje odluke, od čovjeka, eksperta u određenom području, sugerirajući alternativne puteve rješavanja problema, korištenjem i nadopunjavanjem pohranjenog znanja.<sup>3</sup>

Ekspertni sistem čine: 1. znanje sadržano u činjenicama i pravilima, 2. interpretor, 3. mehanizam dodjeljivanja (određuje redoslijed upotrebe pravila), 4. mehanizam održavanja konzistentnosti sistema pri mijenjanju pohranjenog znanja, 5. mehanizam objašnjavanja rezoniranja sistema.

Formiranje ekspertnog sistema sastoji se od pet faza [6]: 1. definicija problema; 2. prikupljanje, reprezentacija i koordinacija znanja; 3. mehanizam zaključivanja; 4. implementacija; 5. učenje.

Od kraja 60-ih godina do danas razvijeno je oko 2000 ekspertnih sistema. U oblasti proizvodnog inženjerstva, područje izrade planova procesa, razvijeno je nekoliko sistema, od kojih će se spomenuti: za izradu planova obrade odvajanjem čestica-GARI (1981), SIPP (1985), TOM (1982), EXCAP (1984); za izradu planova montaže štampanih pločica- PWA-Planner (1985).

Ekspertni sistem za definiranje funkcionalne strukture, odnosno izradu funkcionalnog plana montaže, spada u to područje, s ti-

2. Dobavno stanje je izvedena karakteristika dijelova.

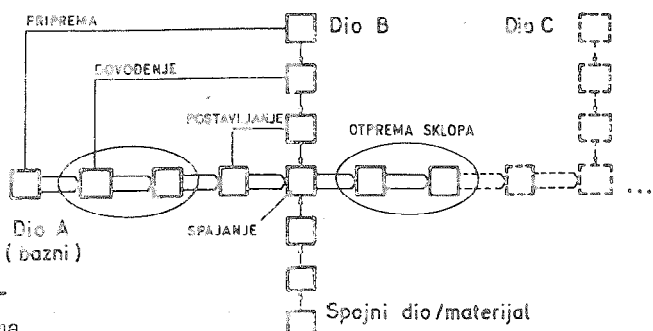
3. "A program having a few 'if...then' constructs and a set of analytical tools cannot be classified as an expert system. An expert system should be able to understand new knowledge, draw inferences, justify and explain its reasoning process." [6]

me, da je okrenut i oblikovanju montažnog sistema, a ne samo procesa.

#### 4.2 Definicija problema i prikupljanje znanja

Na općenitom primjeru sklapanja dvaju dijelova (Sl.2), vidljivo je da: 1. spajanje dijelova prethodi pojedinačno rukovanje svakim dijelom, 2. po spajanju dijelova izvodi se rukovanje sklopom (ugradbenom grupom, proizvodom).

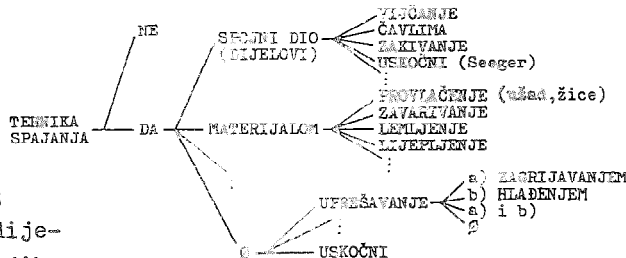
Cilj je za svaki dio odrediti sve potrebne operacije tokom procesa montaže i međusobno ih ukomponirati. U tu je svrhu potrebno najprije razmotriti entitete sistema i njihove relacije.



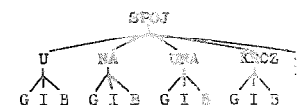
Sl.2 Općeniti primjer sklapanja

Sistem se sastoji od dva objekta: baznog dijela A i dijela B, koji rezultiraju sklopom. Ovisno o tehnici spajanja, sistem može sadržavati i treći objekt - spojni dio, odnosno spojni materijal (Sl.3).

Spoj može biti ostvaren jednomjesno, višemjesno i kontinuirano, što također proizlazi iz tehnike spajanja; nadalje, spoj dvaju dijelova proistječe iz njihovog zahtijevanog međusobnog položaja (Sl.4a).



Sl.3 Tehnika spajanja



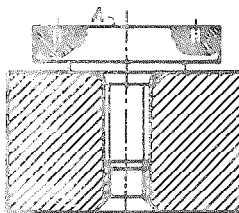
Sl.4a) Međusobni položaj dijelova

Karakteristike dijelova predočene su slikom 5.

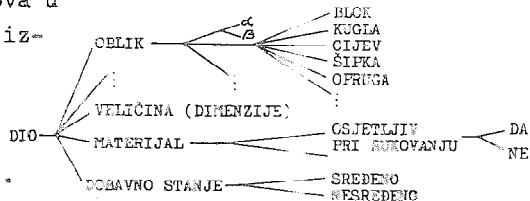
Iz navedenog je očito da poimanje značajki promatranog sistema, između kojih postoji niz međuovisnosti, zahtijeva velik broj

Sl.4b) Primjer

UNA spoja (dio A je "UNA" baznom dijelu)



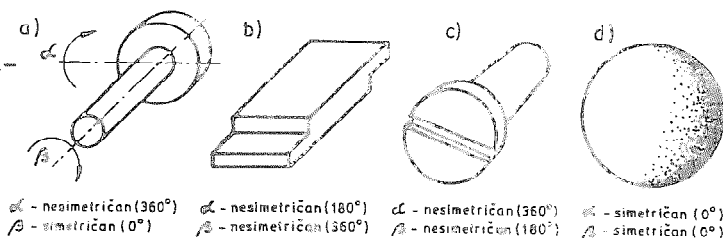
podataka. Npr. oblik dijelova u mnogome utječe na proces izrade funkcionalnog plana: pri orijentiranju dijelova za proces spajanja je od odlučujućeg značaja. Definiranje oblika dijelova iziskuje mnogo podataka, pa



Sl.5 Karakteristike dijelova

stoga treba težiti upotrebi "mentalnih pomagala", koja reduciraju potreban broj podataka za dobivanje informacije. Tako se u [7] predlaže jednostavan način definiranja orijentičnosti dijelova (Sl.6).

Sl.6 Defini-  
ranje ori-  
jentičnosti  
dijelova



$\alpha$  - nesimetričan (360°)     $\alpha$  - nesimetričan (180°)     $\alpha$  - nesimetričan (360°)     $\alpha$  - simetričan (0°)  
 $\beta$  - simetričan (0°)         $\beta$  - nesimetričan (360°)     $\beta$  - nesimetričan (180°)     $\beta$  - simetričan (0°)

Kompleksnost funkcionalnog plana, odnosno montažnog sistema, izravno ovisi o brojnosti operacija u procesu montaže. Zato je za svaku operaciju, uzimajući u obzir dosad izloženo (tehnika spajanja, orijentičnost dijelova...) potrebno odrediti uvjete pod kojima se ona nužno pojavljuje.

#### 4.3 Mehanizam zaključivanja

Funkcija mehanizma zaključivanja<sup>5</sup> je iznalaženje rješenja pretraživanjem pohranjenog znanja.

Iznalaženje potrebnih operacija za svaki dio, vrši se sukcesivno od prva dva (odnosno tri)<sup>6</sup> objekta (Sl.2) na početku bazni dio A i dio B, a potom sve od kraja "narastajući" sklop i idući po redoslijedu dio. U izradi plana montaže za dva dijela (sklopa i dijela) kreće se od čina spajanja unatrag, budući da on predstavlja konačno i definirano stanje, koje sve prethodeće operacije moraju osigurati. Nakon toga pristupa se određivanju operacija pripreme, dovođenja i postavljanja. Razmatranje novonastalog sklopa i idućeg dijela eventualno će ishoditi revizijom nekih operacija prethodnih dijelova.

5. Mehanizam zaključivanja obuhvaća tzv. proceduralna znanja za razliku od deklarativnih kao što su npr. činjenice.

6. Cf. supra p.4.

Nastoji se izgraditi sistem koji će trebati što manje podataka, unešenih od strane korisnika. To znači da će u slučaju izuzetka nekih za rad sistema relevantnih podataka, mehanizam zaključivanja morati imati ugrađene opcije za pronalaženje alternativa, koje će se u daljnjem toku rada sužavati. Npr. nezadavanjem tehnike spajanja, ali uz podatak "Ø", postoje alternative "uprešavanje" i "uskočni" (Sl.3). U daljnjem toku rada dilema će se otkloniti, ukoliko se dade podatak o npr. potrebi zagrijavanja dijela. U slučaju neotklanjanja dvosmislenosti generirat će se različita rješenja i krajnja odluka bit će prepuštena korisniku<sup>7</sup>. Dakle, rad sistema odvijat će se po nekoliko različitih scenarija (meh. dodjeljivanja<sup>8</sup>).

#### 4.4 Reprezentacija, implementacija, učenje

Postoji više načina predstavljanja znanja, od kojih će biti navedena nekolicina za ovaj rad bitnih, djelomice ilustrirajući izrečeno u točkama 4.2 i 4.3 (drveće iz točke 4.2 i samo je jedan vid reprezentacije).

Semantičke mreže (semantic nets) čine čvorovi i usmjerene veze.



Okviri (frames) predstavljaju neku situaciju ili objekt s više aspekata. Prednost je okvira nad semantičkim mrežama mogućnost "cijepanja" znanja i pohranjivanje procedura zajedno s opisnim podacima.

Sl.8 Okvir "otvori"

Ime okvira	SPAJANJE	
Što BAZNI dio	A	"punjenja"
Što Dio	B	
Čine (spojni dio/materijal/Ø)	Ø	
Kako (tehnika)	UPREŠAVANJE	
Gdje (medusobni položaj)	UNA	

Reprezentacija pravilima: AKO JE <math>\alpha</math> >Ø ONDA operacija orijentiranje.

Implementacija se sastoji u prevođenju prikupljenog znanja u oblik propisan pravilima odabranog jezika. Ekspertni sistem za izradu funkcionalne strukture bit će izveden u Prologu. Okvir sa slike 8 izgleda u Prologu ovako:

Ime\_okvira(Što, Čime, Kako, Gdje).

spajanje( [dio\_B, dio\_A], Ø, uprešavanje, una), a gornje

7. Ugrađivanjem dodatnih opcija, baziranih npr. na principu vjerojatnosti, moguće je nužnost korisnikovog izjašnjavanja odložiti za neki viši nivo.

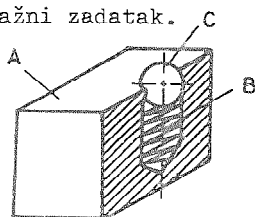
8. Cf. supra p.3.

pravilo: operacija\_orientiranje:-Alfa>Ø. .Važan zadatak pri implementaciji je osiguranje komunikacije sistem-korisnik:korisniku treba omogućiti dobivanje obrazloženja kako je pojedino rješenje dobiveno, i zašto sistem od korisnika traži neku informaciju.

Tokom rada sa sistemom neumitno se javlja potreba mijenjanja postojećih znanja ili unošenja novih. Struktura sistema mora dopuštati odvijanje toga procesa, uz održavanje konzistentnosti sistema.

4.5 Primjer toka konverzacije pri izradi funkc. strukture Slikom 9 predočen je jednostavan montažni zadatak.

Sl.9 Montažni zadatak



Upisi korisnika su podvučeni.

1. Unošenje osnovnih podataka za prva dva dijela:

11 Oznaka 1. dijela (baznog)? A

12 α? 360

13 β? 360

14 Oblik? BLOK

15 Osjetljiv za rukovanje? (DA/NE) NE

16 Dobavno stanje sređeno? (DA/NE) DA

21 Oznaka 2. dijela? B

22 α? 180

23 β? Ø

24 Oblik? OPRUGA

25 Osjetljiv za rukovanje? (DA/NE) NE

26 Dobavno stanje sređeno? (DA/NE) DA

3 Tehnika spajanja? (DA/NE) NE

4 Da li 3. dio ostvaruje spoj s baznim preko B? (DA/NE) DA ZAŠTO

+ A i B ne čine spoj.

31 Oznaka 3. dijela? C

32 α? Ø

33 β? Ø

+34 C je kugla. ZAŠTO

+ Jer je α=Ø i β=Ø.

+35 Vjerojatno nije osjetljiv za rukovanje? (DA/NE) DA

36 Dobavno stanje sređeno? (DA/NE) DA

5 C je U/NA/UNA/KROZ A? U

6 C je U/NA/UNA/KROZ B? NA

+7 Tehnika spajanja je vjerojatno uprešavanje? (DA/NE) DA ZAŠTO

+ A i B ne čine spoj. ZAŠTO

++ Nije zadana tehnika spajanja za A i B. ZAŠTO

+++ Vi ste tako zadali. ZAŠTO

++++ Ne znam. DALJE

+ A nije osjetljiv za rukovanje. QBRNUTO

+ A je osjetljiv za rukovanje. ZAŠTO

++ A je od osjetljivog materijala. DALJE

+ A i B ne čine spoj. DALJE

Okvir 1

BAZNI DIO	A
α	360
β	360
OBLIK	BLOK
OSJETLJIV	NE
SREĐENO	DA

Okvir 2

DIO	B
α	180
β	0
OBLIK	OPRUGA
OSJETLJIV	NE
SREĐENO	DA

Okvir 3

DIO	C
α	0
β	0
OBLIK	KUGLA
OSJETLJIV	NE
SREĐENO	DA





## Reference

- [1] LÖHR, H.-G.: Eine Planungsmethode für automatische Montagesysteme, Krausskopf-Verlag, Mainz, 1977.
- [2] GAIROLA, A.: Design analysis for automatic assembly, Int.J.Prod. Res., 1986, VOL.24, No.4, p.839-849.
- [3] GANIĆ, J.: Definiranje redoslijeda sklopanja ugradbenih elemenata determinističkim postupkom, Magistarski rad, FSB, Zagreb, 1988.
- [4] VDI 2860, Handhabungsfunktionen, Handhabungseinerrichtungen, Begriffe, Definitionen, Symbole
- [5] NIKOLIĆ, G.: Mehanizacija i automatizacija operacija sklopanja, Skripta, FSB, Zagreb, 1981.
- [6] KUMARA, S.R.T., SANJAY JOSHI, KASHYAP, R.L., MOODIE, D.L., CHANG, T.C.: Expert systems in industrial engineering, Int.J.Prod.Res., 1986, VOL.24, No.5, p.1107-1125.
- [7] BOGHEHOVB, G., DEWHURST, P.: Design for Assembly, Department of Mechanical Engineering, University of Massachusetts, Amherst, 1983.
- [8] RICH, E.: Artificial Intelligence, McGraw-Hill, 1986.
- [9] CLOCKSIN, W.F., MELLISH, C.S.: Programming in Prolog, Springer-Verlag, 1984.

Z. Kunica

EXPERT SYSTEM FOR DEFINING FUNCTIONAL  
STRUCTURE OF AUTOMATED ASSEMBLY SYSTEMS

S u m m a r y

The article constitutes a preliminary investigation for the development of an expert system for producing a functional structure of automated assembly systems.

The making of the functional structure follows after the formulation of the assembly task, its analysis and the defining of the assembly order. The functional structure is the basis for designing potential technical solutions of the assembly system and comprises all the necessary operations for handling, joining and control during the assembly process.

The article includes considerations about the basis of automated assembly systems planning, functional structure and the main aspects of the development of the suitable expert system.



Mr. Josip Lisičar \*

PRIMJENA DFA METODE ZA ANALIZU KONSTRUKCIJE  
SA GLEDIŠTA POGODNOSTI ZA MONTAŽU

1.0 UVOD

DFA metoda, prema [1], se bavi minimiziranjem troškova montaže u granicama koje su određene konstruktivnim karakteristikama proizvoda. Najbolji mogući način za smanjenje troškova montaže je smanjenje broja dijelova koji se montiraju i osiguranje pogodnosti dijelova za montažu.

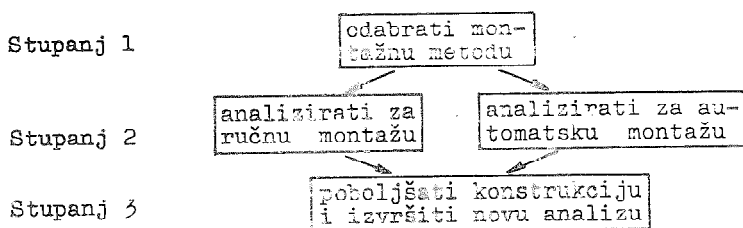
Konstrukter bi trebao biti svjestan prirode montažnih procesa i uvijek bi trebao imati opravdane razloge za uvođenje u montažu dijelova specijalne konstrukcije jer to izaziva duže vrijeme montaže. Kombiniranjem dva dijela u jedan, eliminira se jedna operacija i jedna radna stanica u ručnoj montaži ili općenito jedna cijela radna stanica na automatskom montažnom stroju.

Potrebno je imati kriterij za ocjenu uspješnosti konstrukcije sa gledišta montaže, a ova metoda upravo kvantificira taj faktor za ručnu i automatsku montažu. Metoda DFA je u svom pristupu sistematična i formulirana korak po korak, a u prvom dijelu se daje prikaz kako izabrati prikladnu metodu montaže za određeni proizvod.

Na slici 1 su prikazani stupnjevi analize oblikovanja za montažu.

---

\* Mr. Josip Lisičar, dipl.inž.strojarstva, znanstveni asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Đure Salaja 1, 41000 Zagreb



Slika 1 Stupnjevi analize oblikovanja za montažu

## 2.0 IZBOR MONTAŽNE METODE

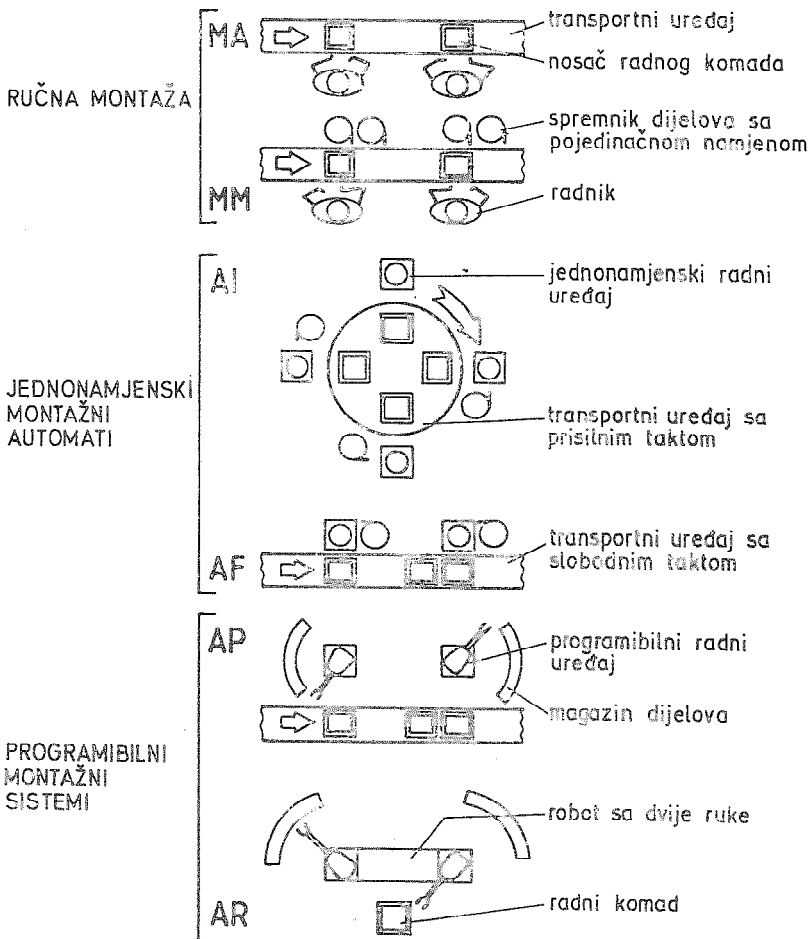
Kod početnog stupnja oblikovanja za montažu, bitno je odlučiti se koji tip montažnog procesa je pogodan za usvajanje. Odluka se mora bazirati na sistemu koji rezultira najnižim troškovima. Projektant treba na temelju vrijednosti osnovnog proizvoda i parametara poduzeća (proizvodna količina, broj dijelova, investicijska sposobnost poduzeća itd.) donijeti odluku koji je montažni sistem za promatrani proizvod najekonomičniji.

Sa aspekta konstrukcije i montaže proizvoda ručna se montaža u velikoj mjeri razlikuje od automatske montaže uslijed razlika u mogućnostima, načinima i vremenima izvođenja pojedinih aktivnosti između čovjeka i stroja. Neka operacija koja je lagana za izvođenje radniku u montaži, može biti neizvediva za robota.

Troškovi montaže proizvoda su u direktnoj vezi sa konstrukcijom proizvoda i montažnim sistemom koji se koristi za njegovu proizvodnju. Najniži troškovi montaže se mogu postići takvom konstrukcijom proizvoda, odnosno takvim oblikovanjem proizvoda da se ekonomična montaža postigne izborom najprikladnijeg montažnog sistema.

Postoje tri osnovna načina montaže:

1. ručna montaža
2. montaža sa jednonamjenskim strojevima
3. montaža sa programabilnim strojevima



Slika 2 Osnovni tipovi montažnih sistema

Na slici 2 su prikazani osnovni tipovi montažnih sistema, preuzeto iz [1].

U ručnoj montaži potrebne naprave i uređaji su općenito jednostavniji i jeftiniji nego oni koji se koriste na automatskim montažnim strojevima, a vrijeme zastoja u montaži uslijed oštećenih dijelova je znatno manje nego kod automatske montaže. Jednonamjenski montažni strojevi su takvi strojevi koji su kon-

struirani za montažu određenih proizvoda, skupi su i uključuju znatan inženjerski trud prije nego se postave u pogon. Vrijeme zastoja uslijed neispravnih ili oštećenih dijelova može biti ozbiljan problem. Ako su takvi strojevi nedovoljno opterećeni, ne mogu se koristiti za neku drugu namjenu, a to rezultira izrazitim povećanjem troškova montaže. Programabilni montažni strojevi su slični nesinkroniziranim jednonamjenskim montažnim strojevima osim što su opće namjene i programabilni su. Moguće je izvršiti više montažnih operacija na jednoj montažnoj stanici, a također je veća prilagodljivost projektnim promjenama.

Svaki od tipova montažnih sistema ima podsisteme:

MA - ručna montaža na montažnoj liniji sa više radnih mjesta

MM - mehanizirana ručna montaža kod koje se smanjuje vrijeme montaže po dijelu

AI - automatska montaža koja koristi jednonamjenske montažne strojeve sa prisilnim taktom

AF - automatska montaža koja koristi jednonamjenske montažne strojeve sa slobodnim taktom

AP - automatska montaža koja koristi jednostavne programabilne montažne strojeve sa slobodnim taktom i ručno napunjenima magazinima dijelova

AR - automatska montaža koja koristi visoko razvijenog ("jako pametnog") robota sa dvije ruke

Najpogodniji tip montažnog sistema za montažu određenog proizvoda se odabire iz tablice date u [1] na temelju investicijskog činioca poduzeća (sposobnost poduzeća za ulaganje u investiciju).

### 3.3 OBLIKOVANJE ZA RUČNU MONTAŽU

Ukoliko se odluči da je proizvod ili ugradbena grupa prikladna za ručnu montažu, tada bi se analizom postupaka oblikovanja nastojali smanjiti troškovi ručne montaže. Postupak uključuje za svaki dio dva važna koraka:

- odluka da li se dio može smatrati kandidatom za eliminiranje ili kombiniranje sa drugim dijelo-

vina u montaži

- proračun vremena za prihvaćanje, manipuliranje i umetanje dijelova

Potrebno je pribaviti detaljne informacije o proizvodu ili ugradbenoj grupi ili dijelu, a poznavajući takve informacije, moguće je dobiti ukupno vrijeme montaže za idealno oblikovanje. Postupak oblikovanja za ručnu montažu se provodi preko tzv. radnog lista koji se ispunjava podacima iz dvije iskustvene tablice gdje se nalaze proračunata vremena za ručno rukovanje i ručno umetanje dijelova. Postupak ručnog rukovanja uključuje zahvaćanje, transportiranje i orjentiranje dijelova ili ugradbenih grupa prije nego se isti umetnu ili dodaju u uređaj za pritezanje ili općenito montiraju. U radnom listu se dobije za svaki dio proizvoda vrijeme za ručnu montažu koje pomnoženo sa montažnim jediničnim troškom daje trošak ručne montaže. Na kraju se izračuna uspješnost oblikovanja za ručnu montažu prema jednadžbi:

$$EM = \frac{\sum NM}{TM} \dots\dots\dots (1)$$

gdje je EM uspješnost ručnog oblikovanja, NM je teoretski minimalni broj dijelova, a TM je ukupno vrijeme montaže. Da bi se odredio teoretski minimalni broj dijelova, odnosno da bi se utvrdila mogućnost eliminiranja nekih dijelova u montaži projektant treba odgovoriti na slijedeća pitanja:

1. da li se dio kreće u odnosu na već montirane dijelove
2. da li dio mora biti od različitog materijala u odnosu na ostale dijelove
3. da li dio mora biti zaseban od svih već montiranih dijelova iz razloga što ne bi bila moguća potrebna montaža ili demontaža ostalih dijelova

Ukoliko se na bilo koje od ovih pitanja odgovori potvrdno, promatrani dio ulazi u teoretski minimalni broj dijelova neke ugradbene grupe, u protivnom se kombiniranjem sa nekim od preostalih dijelova može eliminirati.

Ova se jednadžba može usporediti sa izračunatim vremenom za



montažu koja sadrži teoretski minimalni broj dijelova od kojih se svaki može montirati u idealnom vremenu od 3 sekunde. Idealno vrijeme za montažu se postiže pod pretpostavkom da je svaki dio prikladan za rukovanje i uvjetanje.

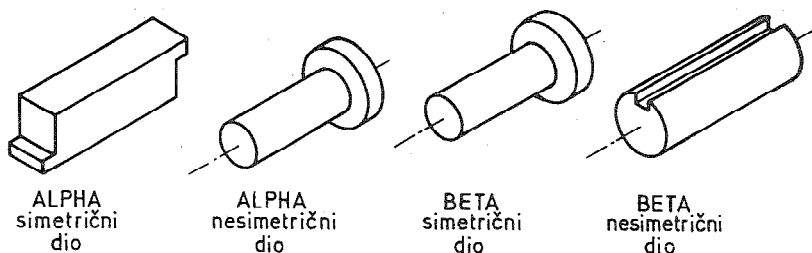
Ako je uspješnost ručnog oblikovanja mala, pribjegava se novom oblikovanju gdje se smanjuje broj dijelova u montaži, odnosno nastoji se postići koliko je to moguće, teoretski minimalni broj dijelova. U puno slučajeva, eliminiranje dijelova se ne može postići zbog drugih ograničenja (npr. zbog ekonomičnosti proizvodnje). Poslije preoblikovanja nekih dijelova u montaži opet se napravi analiza oblikovanja za ručnu montažu preko radnog lista sa ciljem postizanja veće uspješnosti ručnog oblikovanja.

#### 4.0 OBLIKOVANJE ZA AUTOMATSKU MONTAŽU

Najvažniji razlozi za automatsku montažu proizvoda je uspješnost s kojom se može automatski rukovati pojedinačnim dijelovima. Često je neke dijelove u montaži nemoguće automatski zahvaćati i orjentirati, čak i sa vještim preoblikovanjem, a tada se pored automatskog montažnog stroja treba uključiti jedno ili više ručnih radnih mjesta.

Prikladnost, odnosno sposobnost zahvaćanja i orjentiranja pojedinačnih dijelova je prikazana u nekoliko tablica koje omogućuju korisniku proračun dva važna parametra za automatsko rukovanje bilo kojeg pojedinačnog dijela (trošak dodavača za rukovanje dijelova), CR i sposobnost kojom se dio može automatski orjentirati, OE).

Da bi se mogli pronaći podaci iz tablica, za svaki dio kojim se automatski rukuje potrebno je odrediti tzv. ALPHA i BETA simetričnost. ALPHA simetrični dio je onaj dio koji ne zahtijeva orjentiranje za  $180^\circ$  s osnaram na os koja je okomita na glavnu os, dok je BETA simetrični dio onaj dio koji ne zahtijeva orjentiranje za  $180^\circ$  oko glavne osi što je vidljivo na slici 3.



Slika 3 Primjeri ALPHA i BETA simetričnih dijelova

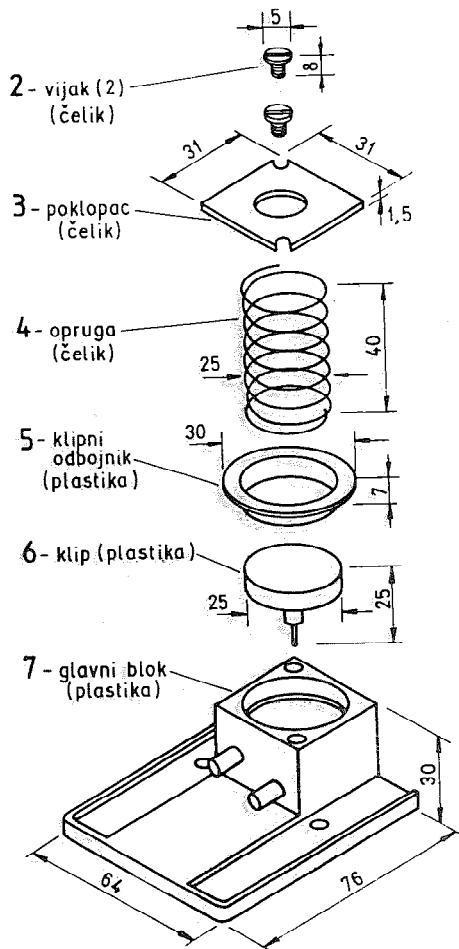
Analogno analizi montaže kod oblikovanja proizvoda za ručnu montažu i ovdje se analiza vrši preko radnog lista za automatsku montažu koji se popunjava korištenjem navedenih tablica.

Da bi se utvrdili troškovi dodavanja i orjentiranja nekog dijela potrebno je razmotriti troškove dodavača dijela, CR i prosječnu brzinu montaže, FR (dijelovi/min). Prosječna brzina dodavanja ugradbenih grupa na minuti se uspoređuje sa maksimalnom brzinom, FM koja se dobije iz standardnog dodavača. Trošak uporabe automatskog radnog uređaja za umetanje dijela se proračunava pomoću podataka iz tablice koja klasificira postupke umetanja dijela i daje trošak radnog uređaja. Sumirajući ove troškove, može se dobiti trošak automatske montaže za svaki dio, ugradbenu grupu, odnosno, proizvod. Važno je znati da se troškovi montaže obično povećavaju razmjerno broju dijelova u montaži, zato se i ovdje mora razmotriti mogućnost eliminiranja ili kombiniranja nekih dijelova. Kada se pomoću radnog lista proračuna uspješnost oblikovanja za automatsku montažu, prilazi se eventualnom preoblikovanju dijelova ukoliko je ta uspješnost malena. Pri tome se opet koristi radni list (neki dijelovi ili ugradbene grupe su poboljšane sa aspekta rukovanja i orjentiranja) sa ciljem da se prikaže mogućnost povećanja uspješnosti oblikovanja za automatsku montažu.

#### 5.0 PRIMJER ANALIZE MONTAŽE POMOĆU DFA METODE

Pod pretpostavkom da se pri izboru montažne metode odlučilo za ručnu montažu, na jednostavnom primjeru iz [1] bit će prikaza-

na analiza oblikovanja proizvoda za ručnu montažu pomoću opisane DFA metode. Pri tome će se nastojati identificirati oni parametri koji uzrokuju visoke troškove montaže i izračunati uspješnost oblikovanja za ručnu montažu. Analiza oblikovanja je ilustrirana na primjeru montaže ugradbene grupe-pneumatskog klipa prikazanog na slici 4.



Slika 4 Montaža ugradbene grupe-pneumatski klip (dimenzije u mm)

Općenito, analiza se provodi u nekoliko koraka:

**KORAK 1** U svrhu analize potrebno je pribaviti najvažnije i najkvalitetnije informacije o proizvodu (ugradbenoj grupi ili dijelu) koristeći tehničke crteže, ekspanzirane crteže, postojeću verziju proizvoda ili prototip proizvoda.

**KORAK 2** Analizira se ugradbena grupa (ili se zamisli kako može izgledati). Identifikacijskim brojem se obilježi svaki pojedinačni dio u redoslijedu izvođenja demontaže, s tim da se sa 1 označi ugradbena grupa (proizvod). Ako montaža sadrži više ugradbenih grupa isti se najprije tretiraju kao dijelovi a zatim se analizira svaka ugradbena grupa.

**KORAK 3** Popunjava se radni list za montažu ugradbene grupe-pneumatskog klipa,

na taj način da se analiza i upisivanje podataka počne sa dijelom sa najvećim identifikacijskim brojem (glavni blok), a

zatim se upisuju preostali dijelovi jedan po jedan u redoslijedu odvijanja montaže.

U Tablici 1 je prikazan radni list za montažu ugradbene grupe pneumatskog klipa.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Naziv ugradbenog dijela
Identifikac. broj	br. neprekid. odv. operacije	dvoznam. kod za ruč.rukov.	vrijeme ruč. ruk.po dijelu (sek)	dvoznam.kod za ruč.umet.	vrijeme ruč. umet. podijah (sek)	operacijsko vrijeme (sek) $2 \times [(4) + (6)]$	operacijski trošak (din) $30 \times (7)$	procjena teoretič. minimuma dij.	Pneumatski klip
7	1	30	1,95	00	1,5	3,45	103	1	glavni blok
6	1	10	1,5	02	2,5	4,00	120	1	klip
5	1	10	1,5	00	1,5	3,00	90	1	klipni odbojnik
4	1	05	1,84	00	1,5	3,34	100	1	opruga
3	1	23	2,36	08	6,5	8,86	226	0	poklopac
2	2	11	1,8	39	8,0	19,60	588	0	vijak
						42,25	1267	4	uspješnost oblikovanja = $\frac{3NM}{TM} = 0,29$
						TM	CM	NM	

Tablica 1 Radni list montaže ugradbene grupe- pneumatski klip

Na taj način se ispuni stupac 1 dok se u stupcu 2 upisuje broj operacija promatranih dijelova.

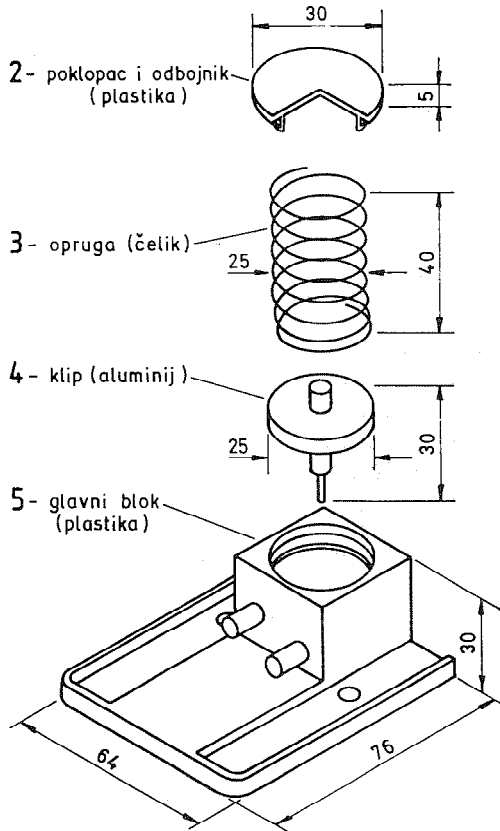
Podaci za stupce 3,4,5 i 6 se pronalaze u tablicama za ručno umetanje. U stupcu 7 je izraženo ukupno operacijsko vrijeme koje pomnoženo sa montažnim jediničnim troškom (30 din/sek) daje operacijski trošak.

U stupcu 9 se određuje minimalni broj dijelova za montažu, a procjena tog broja je posebno važan korak u analizi montaže.

**KORAK 5** Kada su svi stupci popunjeni, suma vrijednosti u stupcu 7 daje ukupno vrijeme montaže, a zbrojene vrijednosti u stupcu 9 daju minimalni potrebni broj dijelova u montaži pneumatskog klipa.

**KORAK 6** Na kraju se izračuna uspješnost oblikovanja za ručnu montažu (izraz 1) koja za navedeni primjer iznosi 0,29.

Budući da je uspješnost oblikovanja relativno niska, analizira se mogućnost preoblikovanja proizvoda pri čemu se nastoje (ukoliko je to moguće) eliminirati neki dijelovi. Smanjenje dijelova u montaži je najkorisniji način za poboljšanje tehnološkičnosti i uspješnosti oblikovanja proizvoda.



Slika 6 Preoblikovana montaža ugradbene grupe- pneumatski klip (dimenzije u mm)

Kao što je na slici 5 vidljivo u preoblikovanoj ugradbenoj grupi eliminirana su tri dijela (2 vijka i poklopac). Poklopac se pokazao suvišnim pošto poklopac i klipni odbojnik ne moraju biti od različitog materijala. Iz tog razloga se ta dva dijela mogu kombinirati i tako oblikovati da je predloženi načinom spajanja sa glavnim blokom moguće eliminirati vijake koji i tako uzrokuju najveće vrijeme rukovanja i montaže.

U Tablici 2 su prikazani podaci dobiveni analizom preoblikovane ugradbene grupe-pneumatski klip, gdje je eliminiranjem nekih dijelova i smanjenjem nekih vremena u montaži dobijena uspješnost oblikovanja od 0,9 što je vrlo zadovoljavajuće. Novim oblikovanjem ugradbene grupe postignuta je ušteda u vremenu montaže u odnosu na prvobitno oblikovanje od 27 sekundi koje se očituje u poboljšanju u produktivnosti montaže od oko 200 %.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Naziv ugradbenog dijela	
identifikac. broj	br. neprekid. odv. operacije	dvoznam. kod za ruč. ruk.	vrijeme ruč. ruk. po dijelu (sek)	dvoznam. kod za ruč. umet.	vrijeme ruč. umet. po dijelu (sek)	operacijsko vrijeme (sek) $2 \times [(4)+(6)]$	operacijski trošak (din) $30 \times (7)$	procjena teor. minimuma dij.	Pneumatski klip (preoblikovani)	
5	1	30	1,95	00	1,5	3,45	103	1	glavni blok	
4	1	10	1,5	00	1,5	3,00	0	1	klip	
3	1	05	1,94	00	1,5	3,34	100	1	opruga	
2	1	10	1,5	30	2,0	3,5	105	1	poklopac i odbojnik	
							13,29	398	4	uspješnost = $\frac{3NM}{TM} = 0,90$ oblikovanja
							TM	CM	CM	

Tablica 2 Radni list za preoblikovanu montažu ugradbene grupe-  
pneumatski klip

## 6.0 ZAKLJUČAK

U radu je kratko opisana i na jednom primjeru ilustrirana DFA metoda koja omogućuje analizu i smanjenje troškova montaže. Doprinos ove metode je u mogućnosti kvantificiranja onih parametara koji izrazito utječu na troškove montaže. Najbolji način za minimiziranje troškova u montaži je smanjenje broja dijelova u montaži, kao i osiguranje pogodnosti dijelova za montažu. Metoda je pregledna i sistematična i uvijek daje odgovor u kom pravcu treba djelovati sa ciljem smanjenja ukupnih montažnih troškova.

Važan doprinos analizi montaže je dato u [2] gdje je pomoću tzv. proširenog lista moguća ocjena bila kojeg proizvoda za pogodnost montaže, dok se u [3] prikazuju principi oblikovanja dijelova za automatsku montažu.

## 7.0 LITERATURA

- [1] G. Boothroyd, P. Dewhurst: Design for Assembly, University of Massachusetts, Department of Mechanical Engineering, 1983
- [2] C. Poli, R. Graves, R. Gropetti: Rating Products for Ease of Assembly, Machine Design, August, 1986
- [3] C. Poli, F. Fenoglio: Designing Parts for Automatic Assembly, Machine Design, December 1987

S U M M A R Y

In this paper is described DFA technique (published by G. Boothroyd and P. Dewhurst) which enable to decide for automation and to ensure that the parts are easy to assemble. This technique allow the designer to decide, from the values of basic product and company parameters (production volume, number of parts, company investment policy, etc.) which assembly system is likely to be the most economic. The amplication of the technique is presented on the real production problem.

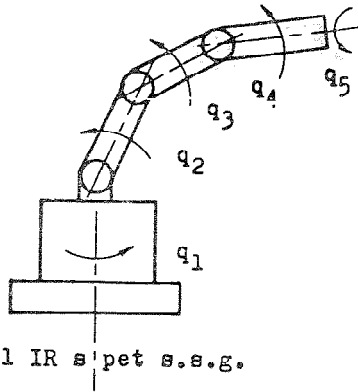
Z. FURAC, B. NOVAKOVIC, M. FURAC\*

SINTEZA VOĐENJA INDUSTRIJSKOG ROBOTA  
EKSTERNOM LINEARIZACIJOM1. UVOD

U radu je primjenom koncepta eksterne linearizacije i simulacijom na računalu izvršena sinteza vođenja za industrijski robot (IR) s 5 stupnjeva slobode gibanja (s.s.g.) rotacijske strukture. Idejna konstrukcija, geometrijske karakteristike robota, te mase pojedinih štapova preuzeti su iz /4/, a skica IR-a, s naznačenim slobodama gibanja, prikazana je na sl. 1.

Iako je u /4/ IR predviđen za zadatke točkastog zavarijanja, sve što je u ovom radu razvijeno, vrijedi i kod izvođenja drugih tehnoloških operacija, npr. kod jednostavnijih zadataka montaže, prenošenja kapljevine i sl.

U konkretnom primjeru najprije je izveden model dinamike IR-a koji je prikazan u standardnom obliku, kao skup nelinearnih diferencijalnih jednačini. Zbog opsega proračuna za svih 5 (s.s.g.), u radu su prikazani rezultati



Sl.1 IR s pet s.s.g.

\* Zvonimir Furač, dipl.ing, Jugoturbina-Institut, M.Svarča 155, Karlovac

prof. dr Branko Novaković, dipl.ing, Zavod za automatiku i mjernu tehniku, FSB, Đure Salaja 5, Zagreb

Miroslav Furač, student, FSB, Đure Salaja 5, Zagreb



simulacije samo za prva dva. Dan je i ukupni model IR-a (manipulator + aktuatori). Definirano je nelinearno upravljanje, te je izvršena sinteza regulatora stanja za slučaj poremećaja tipa početnih uvjeta.

Projektirano nelinearno upravljanje modelom IR-a rezultira u zatvorenoj petlji odgovarajućim linearnim ponašanjem modela.

Kao rezultat simulacije prikazani su (dijagramski) nominalno gibanje, promjene regulacijskog odstupanja pozicija i brzina robota, te nelinearno upravljanje.

## 2. RAZVOJ MODELA DINAMIKE

Model dinamike IR-a s n s.s.g. moguće je opisati kao skup nelinearnih diferencijalnih jednadžbi /2/:

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) = P(t) \quad (2.1)$$

gdje su  $q(t)$ ,  $M(q)$ ,  $N(q, \dot{q})$  i  $P(t)$  vektor generaliziranih koordinata, matrica inercija, vektor centrifugalnih, Coriolisovih i gravitacionih sila, te vektor upravljačkih momenata i/ili sila.

Za ostvarivanje gibanja IR-a potreban je u svakom zglobu aktuator opisan linearnim modelom drugog reda. Kompletan prikaz ovog modela dan je u /3/, a konačni rezultat je ukupni model dinamike IR-a (manipulator + aktuatori):

$$\begin{aligned} \underline{M}(q)\ddot{q} + \underline{N}(q, \dot{q}) &= U(t) \\ \underline{M}(q) &= \underline{B}^{-1} / \alpha - \underline{C} \underline{M}(q) / \\ \underline{N}(q, \dot{q}) &= -\underline{B}^{-1} / \underline{A} \dot{q} + \underline{C} \underline{N}(q, \dot{q}) / \end{aligned} \quad (2.2)$$

U (2.2) je  $U(t)$  vektor upravljačkih napona aktuatora, a s  $\underline{A}$ ,  $\underline{B}$ ,  $\underline{C}$  i  $\alpha$  su označene dijagonalne matrice koje sadrže parametre aktuatora  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$ , te  $\alpha_1$  čije je značenje dano u /3/.  $\underline{M}(q)$  je matrica a  $\underline{N}(q, \dot{q})$  vektor odgovarajućih dimenzija.

Ovako napisan model IR-a je osnova od koje se polazi u sintezi vođenja. Detaljan proračun dinamičkog modela za konkretan slučaj IR-a s 5 s.s.g. rotacijske strukture prikazan je u /1/ i zbog toga se analiza i sinteza pomenutog IR-a u ovom prikazu ograničava na prva dva s.s.g. Upravljački momenti su dati sa:

$$T_1 = 1/2 m_1 (R_1^2 + r_1^2) \ddot{q}_1 + 1/3 m_2 l_2^2 c_2^2 \ddot{q}_1 \quad (2.3)$$

$$T_2 = 1/3 m_2 l_2^2 \ddot{q}_2 + 1/3 m_2 l_2^2 \dot{q}_1^2 c_2 s_2 - 1/2 m_2 g l_2 c_2 \quad (2.4)$$

U gornjim jednadžbama su s  $T_1$  označeni upravljački momenti,  $q(t)$ ,  $\dot{q}(t)$  i  $\ddot{q}(t)$  su promjena položaja, brzine i ubrzanja, a  $m$ ,  $l$ ,  $R$  i  $r$  označavaju masu, duljinu i promjere ( $r$  - unutarnji,  $R$  - vanjski) štapova mehanizma. Sa  $s_1$  označen je  $\sin q_1$ , a s  $c_1$   $\cos q_1$ .

Iz (2.3) i (2.4) mogu se odrediti  $M_1(q)$  i  $M_2(q)$ , te  $N_1(q, \dot{q})$  i  $N_2(q, \dot{q})$ :

$$M_1(q) = 1/2 m_1 (R_1^2 + r_1^2) + 1/3 m_2 l_2^2 c_2^2 \quad (2.5)$$

$$M_2(q) = 1/3 m_2 l_2^2 \quad (2.6)$$

$$N_1(q, \dot{q}) = 0 \quad (2.7)$$

$$N_2(q, \dot{q}) = -1/2 m_2 g l_2 c_2 + 1/3 m_2 l_2^2 \dot{q}_1^2 c_2 s_2 \quad (2.8)$$

Sada nije teško izračunati vrijednosti u (2.2).

### 3. ODREĐIVANJE MODELA POGRESKE VOĐENJA

Da bi se odredio model pogreške vođenja, potrebno je definirati čemu je uopće jednaka pogreška vođenja  $e(t)$ , a isto tako i njene derivacije /3/:

$$e = q_w - q \quad \dot{e} = \dot{q}_w - \dot{q} \quad \ddot{e} = \ddot{q}_w - \ddot{q} \quad (3.1)$$

Vektorski par  $(q_w, \dot{q}_w)$  određuje nominalno, a  $(q, \dot{q})$  stvarno kretanje IR-a.

Primjenom (3.1) na (2.2) dobija se model pogreške vođenja IR-a /3/:

$$\ddot{e} = r(t) - \underline{M}^{-1}(q) /U(t) - \underline{N}(q, \dot{q})/ \quad (3.2)$$

gdje je  $r(t)$  nominalno ubrzanje IR-a:

$$r(t) = \underline{M}^{-1}(q_w) /U_w(t) - \underline{N}_w(q_w, \dot{q}_w)/ \quad (3.3)$$

Valja napomenuti da treba poštivati ograničenje /2/:

$$|r_1(t)| \ll R_{1\max} = f_1(U_{w\max}) \quad (3.4)$$

### 4. SINTEZA REGULATORA STANJA

U /3/ je pokazano kako se dolazi do nelinearnog upravljanja nelinearnim modelom IR-a, čiji je konačan oblik:

$$U(t) = \underline{M}(q) /r(t) + K_{r1} Z_{r1} + K_{r2} Z_{r2} / + \underline{N}(q, \dot{q}) \quad (4.1)$$

U gornjoj jednadžbi je  $K_r$  regulator pozicija,  $K_{r2}$  regulator brzina, a  $Z_r$  i  $Z_{r2}$  su regulacijsko odstupanje položaja i

brzine.

Primjenom izraza (4.1) na model (2.2) dobija se sistem zatvorene petlje linearne forme:

$$\ddot{q} = r(t) + K_r Z_r + K_{r1} Z_{r1} \quad (4.2)$$

Za vektor upravljanja moraju postojati ograničenja tipa amplitudnog zasićenja /3/:

$$U(t) = \begin{cases} -U_{\max}, & \text{za } U(t) < -U_{\max} \\ U(t), & \text{za } -U_{\max} \leq U(t) \leq +U_{\max} \\ +U_{\max}, & \text{za } U(t) > +U_{\max} \end{cases} \quad (4.3)$$

Pojačanja pozicije i brzine i - tog s.s.g. dobijaju se u funkciji željene lokacije polova (korjena) sistema u prostoru stanja (kompletan izvod u /3/).

U svakom s.s.g. postoje dva korjena,  $\mu_{11}$  i  $\mu_{12}$ . Zato vrijedi:

$$\begin{aligned} K_{r1} &= \mu_{11} \mu_{12} \\ K_{r11} &= -(\mu_{11} + \mu_{12}), \quad i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (4.4)$$

Izborom korjena  $\mu_{11,2}$  treba postići praktičnu stabilnost sistema (2.2) u uvjetima zatvorene petlje (4.1).

## 5. SIMULACIJA

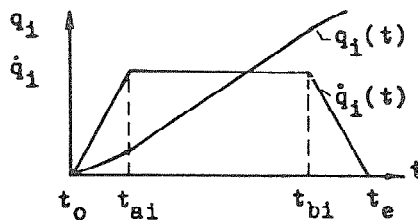
Korištenjem pristupa prikaznog u prethodnim točkama, napravljena je simulacija nad prve dvije slobode gibanja.

Za nominalno gibanje pretpostavljen je trapezni profil brzine, te promjena pozicije i ubrzanja koja slijedi iz toga (sl.2).

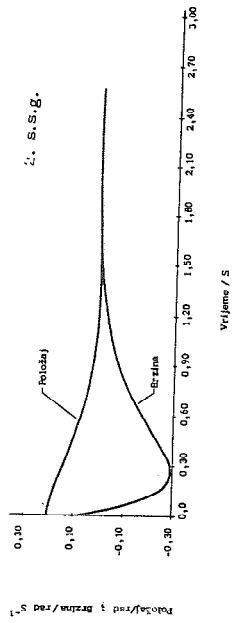
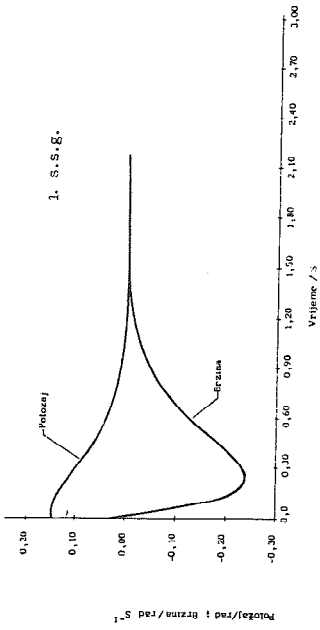
Ovaj pristup detaljno je prikazan u /2/.

Dinamički model za 1. i 2. s.s.g. dan je (2.3) - (2.8). Prema (4.1) moguće je odrediti nelinearno upravljanje, uz poznate regulatore stanja  $K_r$  i  $K_{r1}$  te regulacijska odstupanja  $Z_r$  i  $Z_{r1}$ . Iz (4.4) slijedi da treba poznavati korijene sistema  $\mu_{11,2}$   $\mu_{21,2}$ .

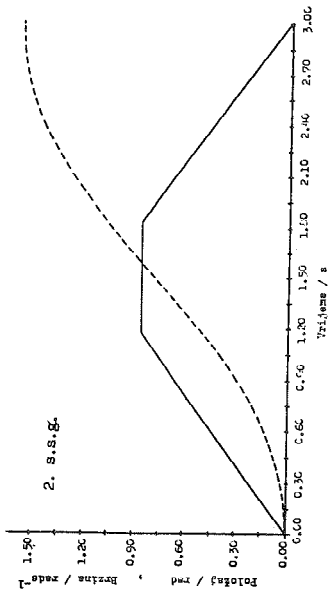
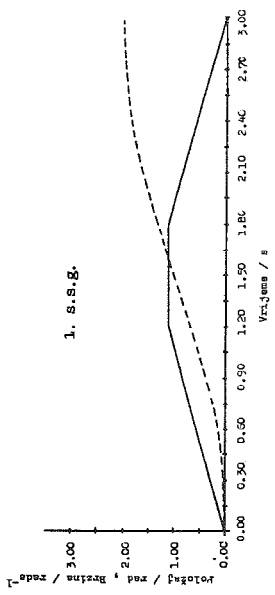
Način računanja regulacijskih odstupanja za slučaj poremećaja tipa početnih uvjeta prikazan je u /3/. Recimo samo



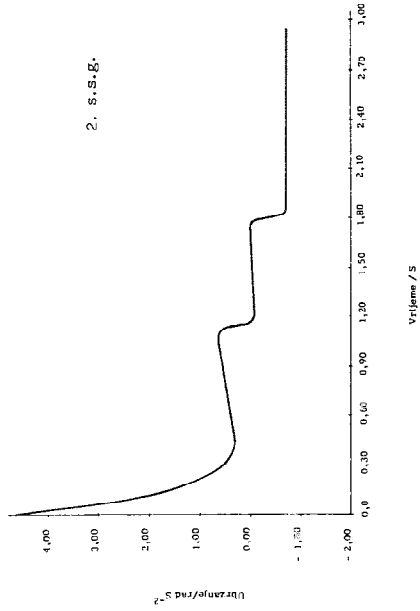
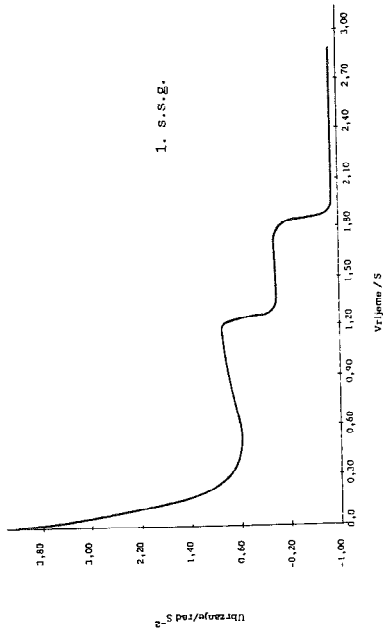
Sl.2 Nominalno upravljanje



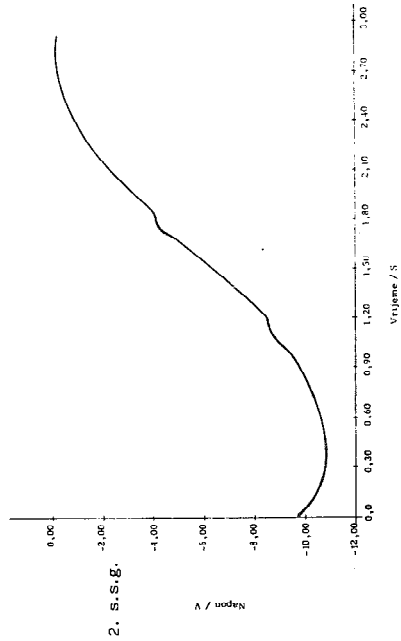
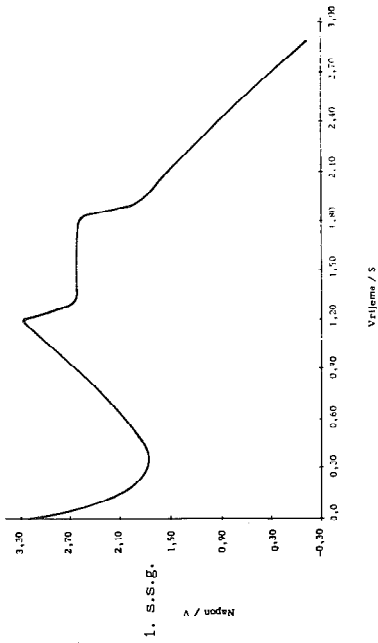
Sl. 4: Promjena regulacijskih odstupanja



Sl. 3: Nominalno gibanje IR-a



Sl. 6: Ponašanje sistema u zatvorenoj petlji



Sl. 5: Nelinearno upravljanje (promjena napona)

da ih je moguće izračunati poznavajući korijene sistema i poremećaje u početnom trenutku gibanja.

Sada se, dakle, dobija nelinearno upravljanje sistema:

$$\begin{aligned} u_1 &= 1/b_1 (1-c_1 M_1(q)) (r_1 + K_{r11} Z_{r11} + K_{r111} Z_{r111}) - 1/b_1 (a_1 \dot{q}_1 + c_1 N_1(q, \dot{q})) \\ u_2 &= 1/b_2 (1-c_2 M_2(q)) (r_2 + K_{r22} Z_{r22} + K_{r222} Z_{r222}) - 1/b_2 (a_2 \dot{q}_2 + c_2 N_2(q, \dot{q})) \end{aligned} \quad (5.1)$$

Položaji i brzine u  $M_i(q)$  i  $N_i(q, \dot{q})$  više nisu nominalne, nego stvarne vrijednosti. Te stvarne vrijednosti računaju se iz (3.1):

$$q = q_w - Z_r(t), \quad \dot{q} = \dot{q}_w - Z_{r1}(t) \quad (5.2)$$

Kada nam je poznat vektor nelinearnog upravljanja  $u(t) = [u_1, u_2]^T$ , lako je odrediti model u zatvorenoj petlji linearne forme. Prema (4.2) razvojem po pojedinim slobodama gibanja dobiva se:

$$\begin{aligned} \ddot{q}_1 &= r_1 + K_{r11} Z_{r11} + K_{r111} Z_{r111} \\ \ddot{q}_2 &= r_2 + K_{r22} Z_{r22} + K_{r222} Z_{r222} \end{aligned} \quad (5.3)$$

## 6. ZAKLJUČAK

Ovom simulacijom je pokazano da je moguće kod IR-a opisanog izuzetno složenim nelinearnim modelom projektirati nelinearno upravljanje koje obezbjeđuje linearno ponašanje IR-a u uvjetima zatvorene petlje, a pri tome se koristi relativno jednostavan postupak sinteze regulatora stanja sistema (pozicija i brzina).

Simulacija je izvršena za vremenski interval od 3 sekunde u trideset točaka. Nominalno gibanje IR-a prikazano je na sl.3. Na sl. 4 prikazana je promjena regulacijskih odstupanja za prvi i drugi stupanj slobode gibanja. Nakon toga prikazana je promjena nelinearnog upravljanja (sl.5) te ponašanje sistema u zatvorenoj petlji (sl.6).

## R e f e r e n c e

- /1./ Furač Z. : Simulacija dinamike industrijskog robota rotacijske strukture, Dipl. rad, mentor B. Novaković, FSB Zgb, 1987.
- /2./ Novaković B. : A time and energy optimal control of industrial robots, Prepr. of IFAC/IFIP/IMACS Int. Symp. on Theory of Robots, pp. 169-174, OPWZ, Vienna, Dec. 1986
- /3./ Novaković B. : Eksterna linearizacija i upravljanje u robotici, Zbornik 5. jugoslovenskog simpozijuma za primenjenu robotiku i fleksibilnu automatizaciju, str. 219 - 226, Bled, 1. - 4.06. 1987.
- /4./ Zado V. : Idejni projekt industrijskog robota za točkasto zavarivanja, Dipl. rad, mentor B. Novaković, FSB Zgb, 1986.

Z. Furač, B. Novaković, M. Furač

SYNTHESIS OF ROBOT CONTROL  
BY EXTERNAL LINEARIZATION

S u m m a r y

Using the concept of the external linearization, the control problem of nonlinear industrial robot model (IRM) has been reduced to control one of the equivalent linear IRM.

Dynamic model of five - degrees - of - freedom rotational IRM is presented as a system of complex nonlinear differential equations. Whole dynamic model of IRM (manipulators + actuators) is also presented.

Introducing the tracking error model of IRM, the nonlinear control law has been derived, which guarantees the linear behavior of the nonlinear IRM in the closed loop system. Results of simulation are presented in paper by corresponding diagrams for two degrees of freedom by reason of capacious calculation.

S. Stojković<sup>x)</sup>

KONCEPT ISTRAŽIVAČKE PODRŠKE  
RAZVOJA INDUSTRIJSKIH ROBOTA

Dalji rad u oblasti robotike u sistemu LOLE bazira na sledećim pretpostavkama.

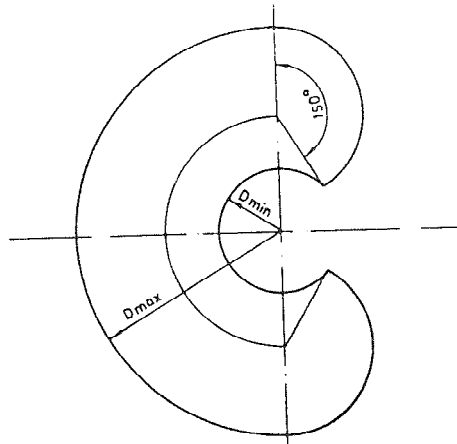
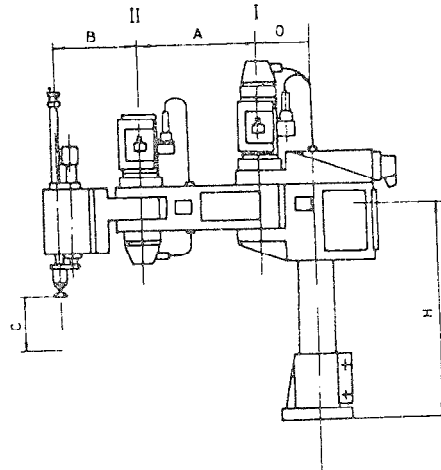
Savremeni uslovi privredjivanja posebno u cilja značajnijeg prisustva na međunarodnom tržištu imperativno postavljaju visoke zahteve sigurnosti u smislu održavanja nivoa kvaliteta i ispitivanja rokova ali i elastičnosti proizvodnih resursa u smislu brzog osvajanja novih proizvoda.

Praćenje praktičnih rezultata pokazuje da tako postavljene zahteve uspešno ispunjavaju proizvodni sistemi bazirani na aplikaciji robotizovanih fleksibilnih ćelija, odnosno, fleksibilni tehnološki sistemi čiji hardverski osnov u značajnoj meri čine i industrijski roboti univerzalne aplikacije, rešeni u vidu samostalnog ili hijerarhijski integrisanog kontrolera, odnosno mikroprocesorskog sistema različitog nivoa složenosti od programibilnog automata, do adaptivnog samoučešćeg upravljačkog sistema sa različitim nivoom veštačke inteligencije i manipulatora antropomorfne ili na drugi način rešene kinematske strukture različitog broja stepeni slobode.

---

x) Slobodan dr Stojković, dipl.ing., rukovodilac grupe za istraživanje u oblasti robotike, IOLA Institut, Beograd, 27 marta 80.





TIP	3 s	6 s	12 s
O	110	130	150
A	275	300	325
B	175	200	225
C	100	125	150
D min	151	161	172
D max	450	500	550
I osa	180°	180°	180°
II osa	150°	150°	150°
Brzina	180 °/s		
Tačnost	± 0,05		

Slika 1

Stvaranje sopstvenih rešenja fleksibilna je dakle pored ostalog, razvojem robota univerzalne aplikacije, pri čemu se mora dolaziti do rešenja koja u optimalnoj meri treba da zadovolje sve postavljene zahteve, s jedne strane, a sa druge u fazi rešavanja tehnologije na bazi primene robota, do maksimalnog korišćenja radnih sposobnosti primenjenih robota.

Pri tome se, očigledno, postavljaju kompleksni zahtevi i u toku razvoja, a i u toku korišćenja robota. Oni se mogu uspešno rešavati samo ukoliko je razvoj oslonjen na istraživanja čiju osnovu čini matematičko modeliranje sa numeričkom, grafičkom i 3D simulacijom, izgradjenu tehnološku podlogu izrade, kontrole i funkcionalnog ispitivanja, metodološki izgradjenu i hardverski podržanu eksperimentalnu verifikaciju, a sama primena zaokružena metodološki i najuže povezana sa potrebnim tehnološkim specifičnostima tretiranog skupa operacija kao i osnažena razradom i primenom metoda estimacije i održavanja potrebnih stanja industrijskih robota.

Sledeći ove pretpostavke definisan je obim razvoja i koncept istraživačke podrške razvoju industrijskih LOLA robota. Razvoj obuhvata tako zvanu tešku seriju robota antropomorfne konfiguracije sa šest stepeni slobode i to LOLA 100 i LOLA 50, predviđena je i laka serija antropomorfne konfiguracije sa šest stepeni slobode: LOLA 25, LOLA 12, LOLA 6 i LOLA 3.

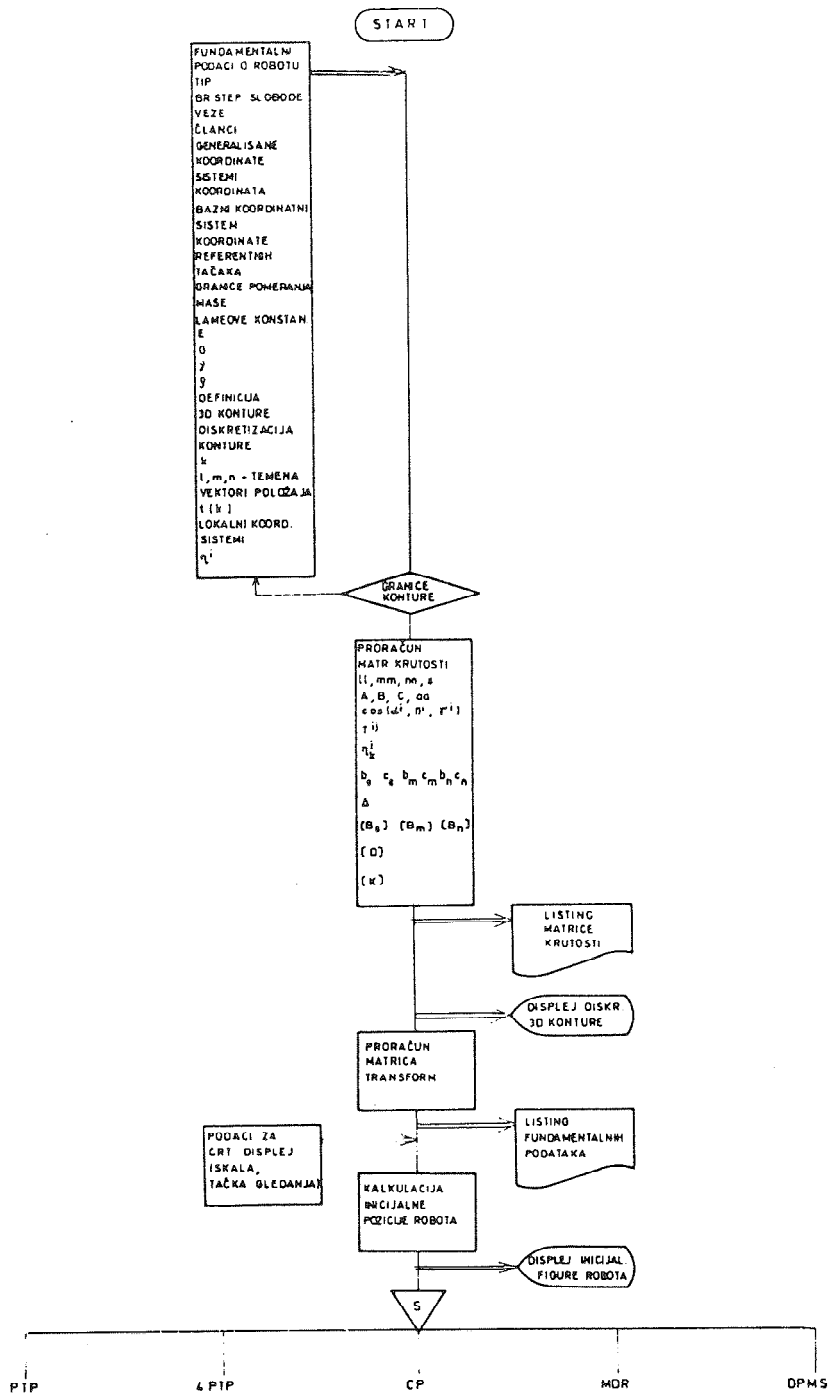
Pored robota antropomorfne konfiguracije predviđen je i razvoj dva tipa portalnih robota: LOLA 100 p i LOLA 50 p. Radi se o gami robota na bazi unificiranih modula.

U LOLI je predviđen i razvoj familije robota horizontalno artikulisanе strukture, specijalno namenjenim za operacije montaže tipa SCARA nosivosti 2, 5 i 10 kg. projektovane performanse date su na sl. 1.

Koncept istraživačke podrške razvoju LOLA industrijskih robota obuhvata:

## 1. Matematičko modeliranje

### 1.1 Kinematsku analizu



Slika 2

Definisanje broja stepeni slobode, veze i kompoziciju, članke, generalisane koordinate, sisteme koordinata, koordinate tačkaka, matrice transformacija, diferencijalna matrica, analiza pomeranja, linearna brzina tačke, ugaono ubrzanje članka.

1.2. Analizu statike i dinamike generalisanih sila robota.

1.3. Deformacije sa:

podelom noseće strukture na komponente, statičkom analizom i identifikacijom statičkih parametara, diskretizacijom složenih konfiguracija metodom konačnih elemenata,

definisanjem funkcije pomeraja, definisanjem deformacija, napona, matrica krutosti,

formiranjem matrica krutosti robota,

definisanjem početnih uslova i ograničenja,

analitičko-numeričkom identifikacijom statike sklopa, elementa i konačnih elemenata,

postavkom osnovne dinamičke jednačine konačnog elementa, elementa i strukture,

definisanjem inercione matrice,

formiranjem inercione matrice elemenata i strukture definisanjem matrice masa,

odredjivanjem sopstvenih frekvenci i glavnih oblika oscilovanja,

definisanjem amplitudno frekventne i fazno frekventne karakteristike strukture,

definisanjem zone stabilnosti, ocenom kvaliteta i optimizacijom rešenja,

1.4. Sintezu puta

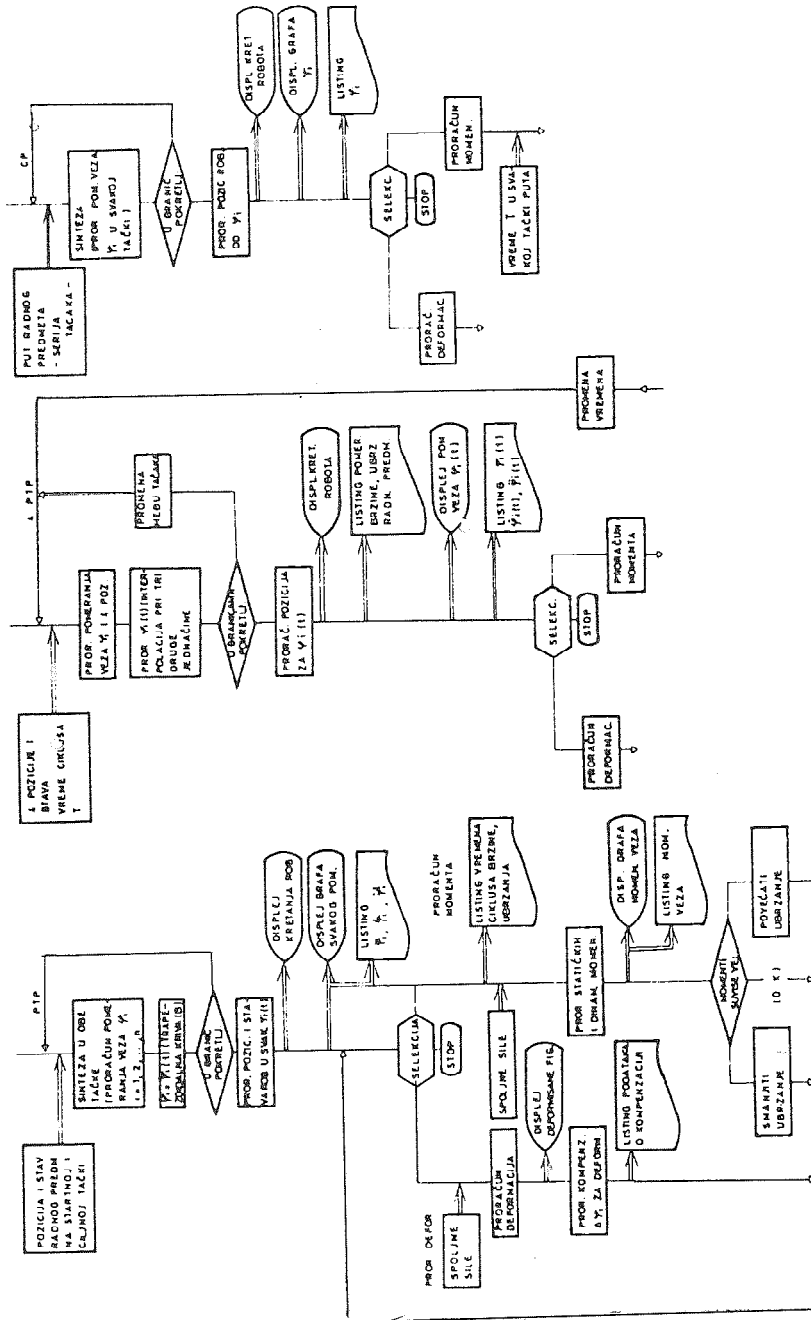
1.5. Model realne dinamike robota

2. Numeričku simulaciju

3. Grafičku simulaciju

4. 3D - simulaciju

5. Blok modelske sinteze od baze podataka karakterističnih detalja, podsklopova i sklopova do primene CAD-a



Slika 3

6. Razvoj metoda eksperimentalne verifikacije i estimacije tehničkih stanja
7. Blok dijagnostike
8. Terotehnoški koncept industrijskog robota sa problemima pouzdanosti
9. Razvoj metodologije uvođenja robota.

U smislu ostvarivanja ovakvog koncepta izvršeno je kompletno matematičko modeliranje statičkog, kinematskog i dinamičkog ponašanja robota antropomorfne i horizontalno artikulirane mehaničke strukture i to kao kibernetičkog i mehaničkog sistema.

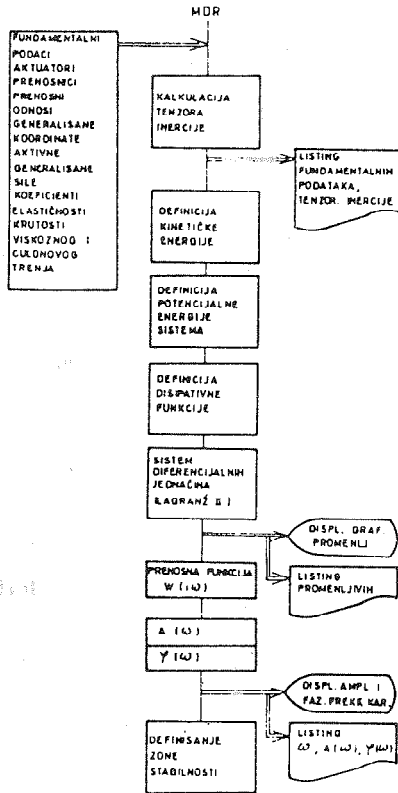
Pri tome se model bazira na primeni matrica transformacija i njihovim izvodima, tretmanu realnog energetskog sistema i svođenje na sistem diferencijalnih jednačina lagranža druge vrste, a u oblasti modeliranja statičkog i dinamičkog ponašanja mehaničke strukture na primeni metoda konačnih elemenata, te istraživanju amplitudnih i fazno frekventnih karakteristika.

Model je usmeren na definisanju ulaza i izlaza u odnosu na kontroler, odnosno upravljačku jedinicu pri ostvarivanju različitih vrsta upravljanja: PTP, 4PTP, CP, pri različitom ostvarivanju povratnih sprega (po poziciji, brzini ili silama i momentima) kao i na optimizaciju mehaničke strukture pod radnim opterećenjima i u ekstremnim uslovima.

U najvećoj meri model se oslanja na numeričkoj simulaciji, grafičkoj i 3D simulaciji.

Do sada je izvršena algoritimizacija modela (sl. 2, 3, 4 i 5) i koncepcija paketa programa. Deo paketa obuhvata analizu, odnosno numeričku simulaciju, grafičku i 3D simulaciju kinematskog i dinamičkog ponašanja robota, a deo, oslanjajući se na bazu podataka koja obuhvata kako karakteristike pneumatskih, hidrauličnih, AC i DC elektro servo aktuatora, harmonic drive i ciclo drive prenosnika, specifičnih rešenja zglobova i pomoćnih prenosnika, rotacionih i linearnih inkrementalnih ili resolver indikatora, mikro bafer graničnika krajnjih položaja kombinovanih sa infra-red opto prekidačima, oblike dimenzije i funkcionalne karakteristike familije end efektoru i drugih





Slika 5



veznih elemenata konstrukcije, te datoteci izvedenih rešenja robota u svetu, modelsku kompjutersku sintezu mehaničke strukture robota.

U dosadašnjem radu realizovan je program za analizu kinematike robota, program za grafičko iskazivanje kinematskih parametara program za analizu linearizovanog dinamičkog ponašanja horizontalno artikulisane kinematske strukture. Trenutno se radi na programu za definisanje statičkog i dinamičkog ponašanja sila i momenata u raznim režimima rada, kao i na problemima modeliranja realne dinamike robota.

Iz prethodnog je očigledno da su dosadašnji rezultati evidentni a dalja realizacija uslovljena osmišljenom finansijskom podrškom kako uži participanata tako i šire zajednice i to i u području investiranja u kadrovo i u jačanju računarske i eksperimentalne podrške.

#### Literatura:

- /1/ M. Benedetić, S. Stojković., Razvoj robotike u LOLI, XXXI stručno-naučni skup LOLA 1988
- /2/ S. Stojković, S. Andrijašević, D. Salemović, Istraživačka podrška razvoju industrijskih LOLA robota, XXXI stručno-naučni skup LOLA, 1988

V. Milačić, N. Čović, Iztok Race\*

PILOT EKSPERTNI SISTEM (ROBEXP) ZA KONCEPCIJSKO  
PROJEKTOVANJE INDUSTRIJSKIH ROBOTA NA BAZI TEHNOLOŠKIH  
ZADATAKA

1. UVOD

Ekspertni sistem ROBEXP inženjeru projektantu sugeriše rešenja za odgovarajuće funkcionalne podsisteme industrijskih robota, odnosno njihove komponente. Pilot ekspertni sistem ROBEXP pokazuje da je moguće automatizovati proces projektovanja i odlučivanja o robotu na osnovu tipskog zadatka. ROBEXP je zasnovan na realnim podacima izvedenih rešenja robota i tehnoloških zadataka u kojima se isti primenjuju. Osnovne koncepcijske karakteristike IR u pilot ekspertnom sistemu ROBEXP dalje se strukturiraju primenom hijerarhijsko-modularne metode.

2. STRUKTURA SISTEMA ROBEXP

Pilot ekspertni sistem ROBEXP zasnovan je na realnim podacima izvedenih rešenja robota i tehnoloških zadataka u kojima se isti primenjuju. Poštujući osnovne aktivnosti inženjerskog projektovanja, strukturu ROBEXP sistema čine sledeći moduli, slika 1 /1/:

- modul za prepoznavanje projektnih zahteva na osnovu tipskih zadataka,
- modul za funkcionalnu logiku koncepcijskog projektovanja,
- modul za optimizaciju,
- baza podataka tehnologije i metoda,
- baza znanja i
- mehanizam za zaključivanje.

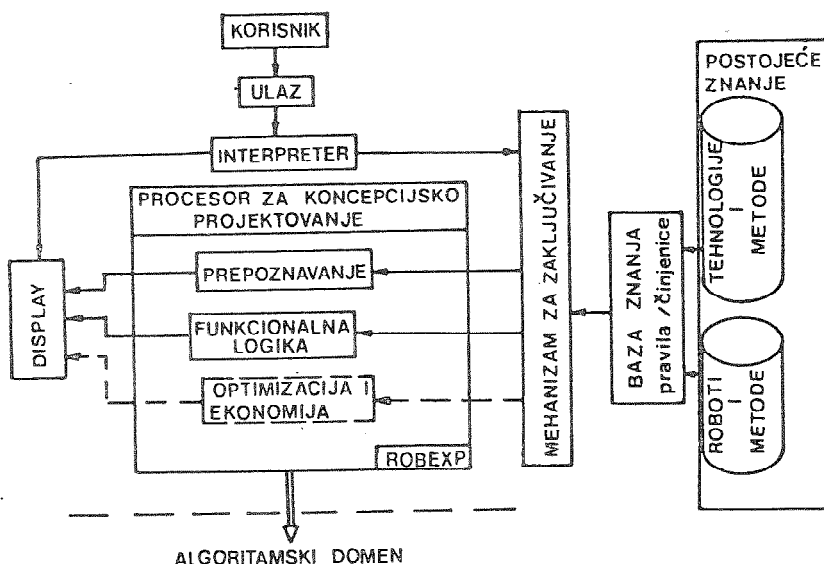
Znanja potrebna za koncepcijsko projektovanje industrijskih robota u ROBEXP sistemu sadržana su kao:

- znanja o tehnološkim zadacima - procesima IR,
- znanja o funkcionalnim podsistemima IR na osnovu izvedenih rešenja.

---

\* Prof. dr Vladimir R. Milačić, dipl.inž., mr Nebojša Dj. Čović, dipl.inž.,  
mr Iztok Z. Race, dipl.mat., Mašinski fakultet Univerzitet u Beogradu,  
ul. 27. marta 80, 11000 Beograd

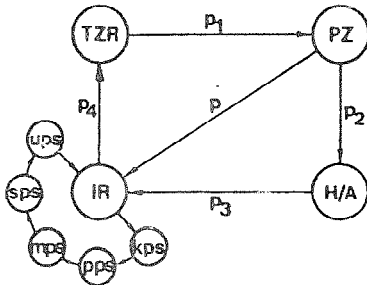
U okviru ovih znanja definisani su neophodni projektni entiteti i atributi potrebni za konceptijsko projektovanje IR. Osnovni zadatak ROBEXP sistema



Slika 1. Struktura ROBEXP sistema

ogleda se u definisanju funkcionalnih pod sistema industrijskih robota na osnovu postavljenog tehnološkog zadatka. Na slici 2 dat je meta-graf za konceptijsko projektovanje industrijskih robota.

Svaki od navedenih čvorova predstavlja entitet, odnosno skup entiteta procesa konceptijskog projektovanja robota. Prvi problem sa kojim se susreće pri konceptijskom projektovanju robota, predstavlja identifikacija elemenata tehnološkog zadatka, odnosno način dekompozicije tehnološkog zadatka na tipse zadatke. Tipski zadaci su u direktnoj sprezi sa tehnološkim sekvencama zadatka iz kojih se u ovom sistemu uzimaju u obzir one koje utiču na koncepciju sistema IR. Ove sekvence predstavljaju projektne zahteve koji se postavljaju pred IR na bazi tehnološkog zadatka koji treba da izvrši. Projektni zahtevi



TZR - tehnološki zadatak robota  
 PZ - projektni zahtevi  
 H - hvataljka  
 A - alat  
 IR - industrijski roboti

Slika 2. Meta-graf za konceptijsko projektovanje industrijskih robota na bazi tehnološkog zadatka /2/

formirani su na osnovi bogatih preporuka iz literature. Nakon definisanja projektnih zahteva potrebno je izvršiti dekompoziciju istih na odgovarajuće pod-sisteme industrijskih robota, a potom njihovo komponovanje i upoređivanje sa izvedenim svetskim rešenjima podсистema IR. Naime, pomoću projektnih zahteva vrši se dekompozicija podсистema hvataljke/alata da bi se tačno definisali oni koji zadovoljavaju te zahteve, a potom komponovanje podсистema u cilju dobijanja konačnog rešenja hvataljke/alata.

Tehnološki zadaci industrijskih robota u okviru ROBEXP sistema predstavljaju dva skupa kompleta tipskih zadataka koji su dekomponovanjem dovedeni do nivoa tipskih zadataka /3/, što je i prikazano na slici 3.

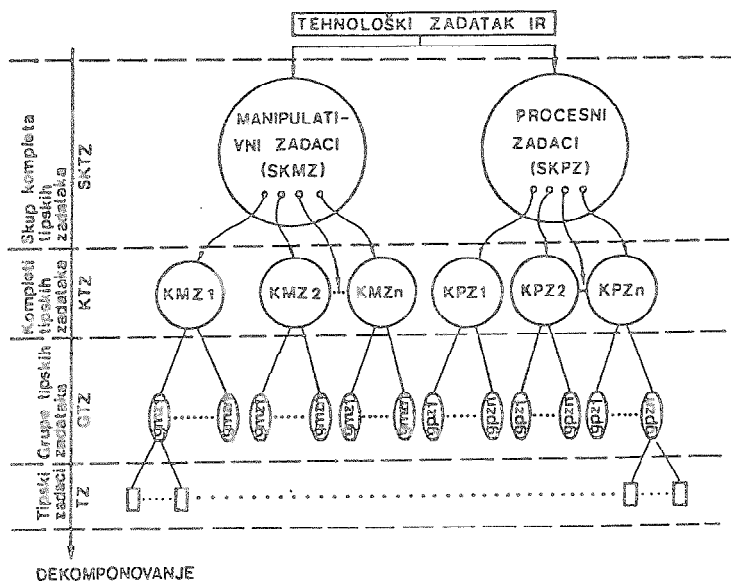
Tipski zadaci su u direktnoj sprezi sa tehnološkim sekvencama zadataka. Ove sekvence predstavljaju projektne zahteve koji se postavljaju pred IR na bazi tehnološkog zadatka koji treba da izvrši.

Čvorovi meta-grafa (slika 2.) kao neterminirani elementi predstavljaju klase baze znanja ROBEXP pilot ekspertnog sistema. Veze između čvorova ostvarene su terminiranim elementima koji predstavljaju operacijske strukture prelaska iz čvora u čvor. Znanja simbolički predstavljena čvorovima u okviru ROBEXP sistema sadržana su u bazi znanja u vidu produkcionih pravila i činjenica. Baza znanja dobijena je strukturisanjem odgovarajućih baza podataka /4/ (u kojima su postojeća znanja):

- tehnologija i metoda, i
- izvedenih rešenja industrijskih robota i metoda,

koje čine globalnu bazu podataka postojećeg znanja.

Predstavljanje znanja u pilot ekspertnom sistemu ROBEXP bazira na produkcionim sistemima, te su znanja definisana kao:



Slika 3. Graf tehnološkog zadatka industrijskih robota

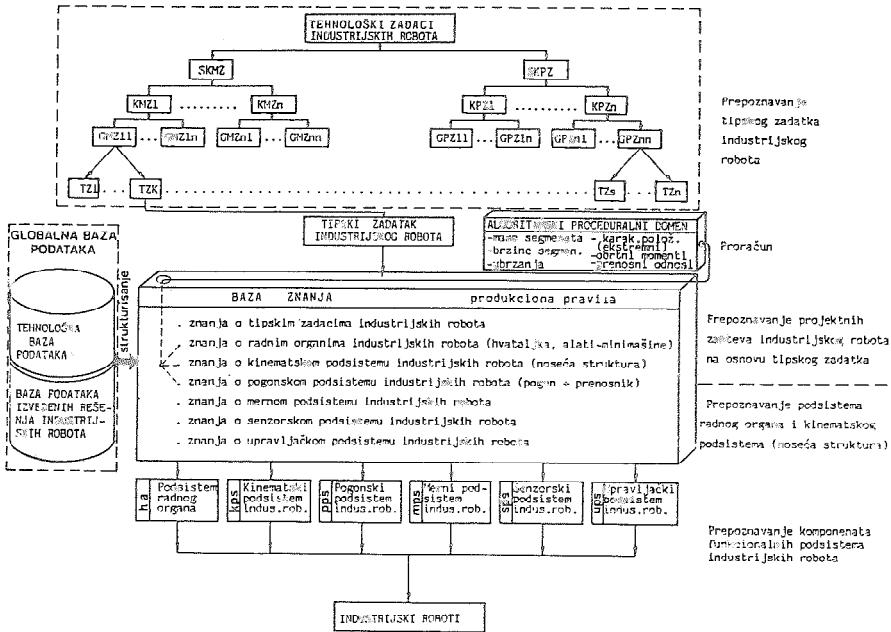
- deklarativna (predstavljena globalnom bazom podataka koja opisuje stanje posmatranog problema - činjenice u bazi podataka),
- proceduralna (predstavljena preko pravila produkcije, pomoću kojih se vrši manipulacija deklarativnim znanjima - pravilima u bazi znanja), i
- upravljačka (sadrže upravljačku strategiju za rešavanje postavljenog problema).

U okviru baze znanja pilot ekspertnog sistema ROBEXP sadržano je nekoliko stotina produkcionih pravila i činjenica kojima je definisano znanje o:

- tipskim zadacima industrijskih robota,
- radnim organima industrijskih robota (hvataljka, alati - mini mašine),
- kinematskom podsistemu industrijskih robota (noseća struktura),
- pogonskom podsistemu industrijskih robota (pogon+prenosnik),
- mernom podsistemu industrijskih robota,
- senzorskom podsistemu industrijskih robota, i
- upravljačkom podsistemu industrijskih robota.

Na osnovu meta-grafa formiran je kompleksan graf za projektovanje industrijskih robota u okviru koga se može sagledati navedena struktura sistema, slika 4.

Na početku rada ROBEXP sistema korisniku se neprekidno postavljaju pitanja o tipskom zadatku za koji je potrebno konceptijski projektovati robota.



Slika 4. Kompleksan graf koncepcijskog projektovanja industrijskih robota

Svaki odgovor predstavlja "korak napred" i na osnovu njega se postavlja novo pitanje, sve dok se ne definiše odgovarajući tipski zadatak. Za tako definisani tipski zadatak prepoznaju se projektni zahtevi robota koji se preporučuju korisniku ROBEXP sistema. Na osnovu definisanih projektnih zahteva prepoznaje se odgovarajuća konstruktivna varijanta IR, te se ona preporučuje korisniku. Na korisnikov zahtev se svaka preporučena konfiguracija može i obrazložiti.

Za izabranu konfiguraciju robota izračunavaju se orijentacione mase

egmenata robota /5/ koje se u cilju kompenzacije obrtnih momenata, usled gravitacionih sila, pravilno raspoređuju duž noseće strukture IR. Izračunavanje orijentacionih vrednosti brzina i ubrzanja stepeni slobode za pozicioniranje izvodi se na osnovu maksimalne brzine robota koja je preporučena na osnovu tehnološkog zadatka. Izračunavanje orijentacionih obrtnih momenata u osama zglobova izvodi se Lagrange-ovim jednačinama druge vrste za ekstremni položaj robota /5, 6/. Ovako izračunati momenti predstavljaju jedan od projektnih zahteva pri izboru pogonskih grupa robota. Izračunavanje masa, brzina, ubrzanja i momenata predstavlja algoritamski deo pilot ekspertnog sistema ROBEXP.

Za izbor podsistema IR (pogonski, merni, senzorski i upravljački), odnosno njihovih komponentata, primenjen je kao ljuska ekspertni sistem za opštu dijagnostiku DESIR-I /7/. U ROBEXP ekspertnom sistemu, strukturirani su izbori pojedinih rešenja unutar svakog od podsistema kao drveta /5/. Svakom čvoru u drvetu pridružena je odgovarajuća tabela sa učestanostima zahteva za jednom karakteristikom u ukupnim zahtevima korisnika za posedovanjem određenih karakteristika kod robota. Takođe je i data učestalost određenih izbora uopšte. Na osnovu ovih tabela, do tada poznatih podataka, kao i prihvatanja određenih informacija koje se traže od korisnika, ROBEXP sistem predlaže korisniku jedan od izbora (jednu granu drveta koja povezuje trenutno posmatrani čvor sa njegovim sinovima). ROBEXP u ovim slučajevima rešava sledeće probleme:

- nalaženje trenutno najselektivnijeg pitanja u datoj situaciji,
- prihvatanje odgovora kojim korisnik objašnjava zahteve koji mogu biti različitog intenziteta,
- nalaženje rešenja u slučaju nepotpunih podataka,
- opredeljenje za rešenje pošto se "dovoljno uverilo u njegovu ispravnost, bez postavljanja celokupnog repertoara pitanja,
- nepostavljanje određenog pitanja ako je već poznat odgovor,
- odgovarajuće obrazloženje na zahtev korisnika.

Ovim je simuliran hijerarhijski način razmišljanja čoveka eksperta prilikom odgovarajućih izbora.

Pravila u sistemu ROBEXP koja povezuju dati zahtev i izabrano rešenje imaju sledeći oblik:

AKO JE <naziv izbora> ONDA JE <P1> <P2> <naziv zahteva> ;

Činjenice o rešenju vezane za izbor pogonskog podsistema, imaju oblik:

ZA REŠENJE <naziv rešenja> VEROVATNOĆA JE <P> ;

ZA ZAHTEV <naziv zahteva> PITANJE JE <pitanje o zahtevu> ;

Ova pravila su u sistemu ROBEXP prevedena u odgovarajuću notaciju PROLOG-jezika, i mogu se po potrebi modifikovati.

proces rešavanja problema izbora se odvija u ciklusima. Sve dok se ne zadovolji krajnji kriterijum (ima samo jedan kandidat za konačan izbor ili nema više pitanja) izabira se pitanje o postojanju zahteva, koje je najselektivnije za trenutni krug kandidata za konačni izbor. Izabrano pitanje se postavlja i dobija odgovor da li je posmatrani zahtev, u konkretnom slučaju važan za posmatrani izbor. Po prihvatanju odgovora koji može biti različito gradiran, ažuriraju se verovatnoće izbora koji su u krugu kandidata za konačan izbor na osnovu dobijenog odgovora. To stanje odgovara trenutnom "mišljenju" o pogodnosti pojedinih izbora. Iz kruga kandidata za konačan izbor se, na kraju ciklusa, izbacuju oni izbori koji nemaju izgleda da budu predloženi za konačan izbor na osnovu odgovora korisnika o postavljenim zahtevima koje robot treba da ispunjava.

Na ovaj način je sistem obogaćen dobrim osobinama ljuske DESIR-I, te se tako dobio dobar konsultant prilikom izbora koji su vršeni u pojedinim čvorovima. Uz zadržavanje opšte strategije sistema za konceptualno projektovanje robota, dobio se sistem koji može poslužiti kao "inteligentan" konsultant u izboru komponenti robota, jer sistem prilikom svakog preporučenog izbora može i obrazložiti svoje stanovište. Normalno, uloga ekspertnog sistema je u ovom slučaju savetodavna, jer konačnu odluku na svakom od čvorova donosi čovek (može odustati od preporuke sistema prilikom nekog izbora).

### 3. ZAKLJUČAK

Mehanizam za zaključivanje razvijen u ROBEXP sistemu preuzima neke od aktivnosti projektanta u fazi konceptijskog projektovanja robota. Pravila u bazi znanja mogu se dopunjavati, menjati, dodavati i izbacivati. Ova pravila definisana su u formi PROLOG-jezika koji ima mogućnost automatskog vraćanja duž predjenog puta, čime se olakšava proces obrazlaganja donesenih odluka. Kako je ROBEXP razvijen modularno i većim delom predstavljen u obliku pravila u PROLOG-jeziku, poseduje veliku fleksibilnost, omogućuje laku upotrebu i ubrzava proces projektovanja robota za postavljene tipski zadatak.

#### Reference:

- 1/ Milačić, V., Manufacturing Systems Design Theory, Production Systems III, Mechanical Engineering Faculty - Beograd University JUPITER Association, Beograd, 1987
- 2/ Čović N.Dj., Razvoj pilot ekspertnog sistema - ROBEXP za konceptijsko projektovanje industrijskih robota na bazi inženjerstva znanja, magistarski



- rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1988
- /3/ Milutinović, D., Sistemi industrijskih robota i manipulatora za mašine alatke, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1980
  - /4/ Čović, N., Milačić, V., Robot - selektro, 13. JUPITER-konferencija, Cavtat 1987
  - /5/ Mraji B. O., Computer - Aided Design of Robots, Ph. D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 1983
  - /6/ Čović, N., Čović, Nikola, Izbor DC servo motora robota metodom ekstremnog položaja, 13. JUPITER-konferencija, Cavtat, 1987
  - /7/ Race I. Z., Programska implementacija ekspertnog sistema za dijagnostiku u PROLOG-jeziku, magistarski rad, Prirodno-matematički fakulteti, Matematički fakultet, Beograd, 1988

PILOT EXPERT SYSTEM (ROBEXP) FOR CONCEPTUAL DESIGN OF  
INDUSTRIAL MANUFACTURING TASK-BASED ROBOTS

S u m m a r y

The paper describes a developed pilot expert system for knowledge engineering based conceptual design of robots - ROBEXP. ROBEXP expert system suggests to the designer the solutions for corresponding functional subsystems of industrial robots, namely for their components.

For the pilot expert system ROBEXP real data of applied robot solutions and manufacturing tasks performed by them were used.

V. Milačić, N. Čović<sup>\*</sup>

S. Radosavljević, Lj. Milošević<sup>\*\*</sup>

### РАЗВОЈ INDUSTRIJSKOG ROBOTA RG-01

#### 1. UVOD

U projektnoj koncepciji industrijskog robota RG-01 prvi korak je predstavljala tehnološko-konstruktivna analiza izvedenih rešenja robota u svetu, pri čemu kao izlaz iz analize figuriraju određivanje optimalnog koncepta industrijskog robota i to u tri etape:

- određivanje tehnoloških nivoa i funkcionalno strukturisanje sistema na željenom nivou,
- klasifikacija izvedenih rešenja i
- određivanje ukupne vrednosti svake varijante.

Korišćenjem dobijenih rezultata i primenom metodologije analize radnih mesta u liniji NC strugova, izdvajanjem pogodnih za robotizaciju te izradom varijanti i detaljnog rešenja novo projektovanog radnog mesta, stvorili su se uslovi za izbor optimalnih parametara industrijskog robota RG-01.

---

<sup>\*</sup>/ Prof.Dr. Vladimir R. Milačić, dipl.inž.,

Mr. Nebojša Dj. Čović, dipl.inž.,

Mašinski fakultet u Beogradu, ul. 27. marta 80

<sup>\*\*</sup>/ Slobodan Radosavljević, dipl.inž.,

Ljubomir Milošević, dipl.inž.,

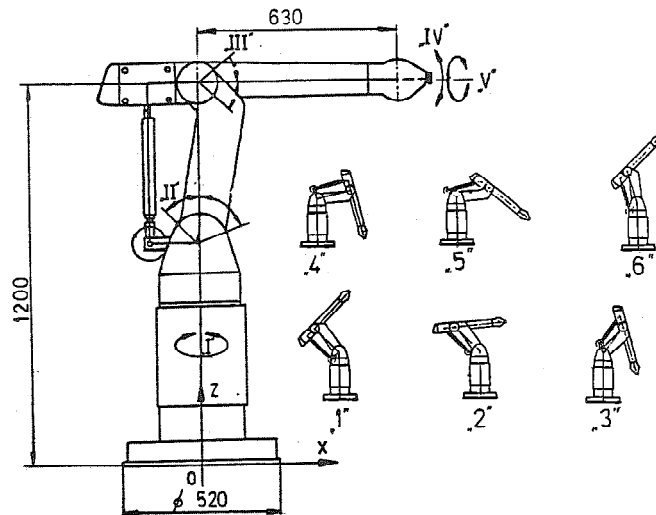
RO Institut "GOŠA-ORGANOMATIK" Beograd, ul. Milana

Rakića 35

## 2. OPIS INDUSTRIJSKOG ROBOTA RG-01

Industrijski robot RG-01 pripada grupi robota modifikovane sferne konfiguracije-vertikalna zglobna ruka. Namenjen je za izvršavanje širokog spektra manipulacionih i procesnih zadataka, a posebno: elektrolučno zavarivanje, opsluživanje mašina alatki i laku montažu.

Razvijena konfiguracija industrijskog robota RG-01 prikazana je na sl. 1, a pregled tehničkih karakteristika dat je u tabeli I.



Sl. 1 Industrijski robot RG-01

Prva-I- osa rotacije /rotacija baze/, druga-II- osa rotacije /rotacija prvog segmenta/, i treća-III- osa rotacije /rotacija drugog segmenta/, sačinjavaju noseću strukturu robota RG-01 izvedenu kao antropomorfna vertikalna zglobna ruka. Sve tri ose pogonjene su DC servo motorima /snage 118 W/, preko kompaktnog harmonijskog redukcionog mehanizma /prenosnog odnosa 1:260/. Motor, reduktor, obrtni davač, tahogenerator i kočnica vezani su za zajedničko vratilo. Pogon treće ose rotacije je dislociran i rotiranje horizontalnog nosača, drugog segmenta, se vrši posredstvom sistema poluga koje pak u sklopu sa prvim i drugim segmen-

tom obrazuju zglobni četvorougaon.

Tip robota	- električni, antropomorfna konfiguracija - vertikalna zglobna ruka	
Broj osa	- 5 + 1 (1, 2, 3, 4, 5, +T)	
Kretanja osa, hodovi i brzine	1-osa - rotacija baze:	$\pm 160^{\circ}$ (120 <sup>o</sup> /s)
	2-osa - rotacija prvog segmenta:	+ 75 <sup>o</sup> , - 45 <sup>o</sup> (100 <sup>o</sup> /s)
	3-osa - rotacija drugog segmenta:	+ 40 <sup>o</sup> , - 35 <sup>o</sup> (100 <sup>o</sup> /s)
	4-osa - zakretanje nosača alata:	$\pm 90^{\circ}$ (90 <sup>o</sup> /s)
	5-osa - valjanje nosača alata:	$\pm 180^{\circ}$ (180 <sup>o</sup> /s)
	T-osa - translacija baze:	1,5 m (24 m/min)-opcija
Hodovni	- Vertikalno 1640 mm, horizontalno 1090 mm	
Dimenzije baze	- 520 x 520 mm	
Zapremina radnog prostora	- 3,7 m <sup>3</sup>	
Nosivost	- 5 daN	
Pogon	- DC servo motori sa PWM pojačavačima	
Pozicioni davači	- Nizolverti montirani na osovinu motora	
Uravnoteženje osa	- pneumatsko za osu 2, težinsko za osu 3	
Ograničenje hodova osa	- za sve ose induktivni senzori, za ose 1, 2, 3, T dodatni čvrsti graničnici	
Upravljanje	- mikroprocesorski kontroler, simultano 6 osa	
Interpolacija	- linearna, cirkularna, vektorska	

Tab. I Tehničke karakteristike IR RG-01

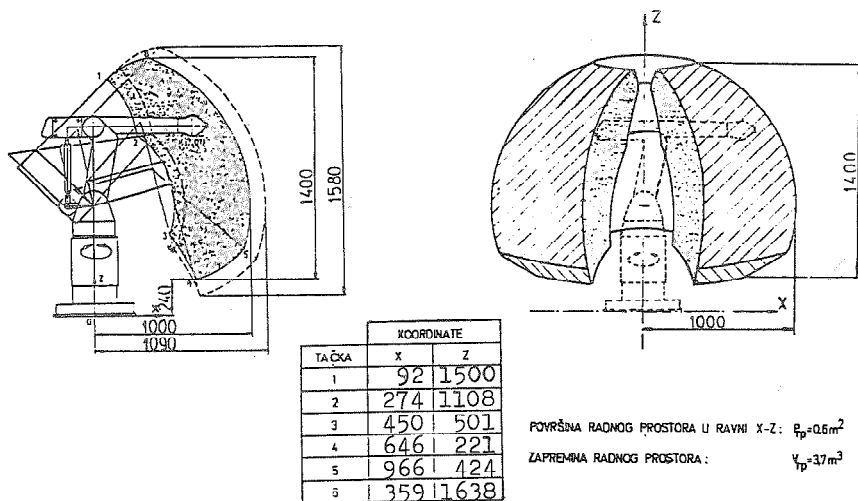
Blok za dopunsku orijentaciju sadrži dva stepena slobode: četvrtu-IV- osu rotacije /zakretanje-propinjanje nosača alata/ i petu-V- osu rotacije /valjanje nosača alata/.

Obe ose pogonjene su DC servo motorima /snage 66W/, preko kompaktnog prenosnog mehanizma /prenosnog odnosa 1:200/. Kao i kod treće ose rotacije noseće strukture i pogon bloka za dopunsku orijentaciju je iz razloga statičkog i dinamičkog uravnoteženja dislociran. Rotaciona kretanja obe ose dopunskog bloka se ostvaruju preko razvodnog mehanizma sastavljenog od poluga i diskova, a kod ose pet i koničnog zupčastog para.

Druga osa rotacije je uravnotežena pneumatskim sistemom a treća osa težinom aktuatorskog sistema bloka za dopunsku orijentaciju.

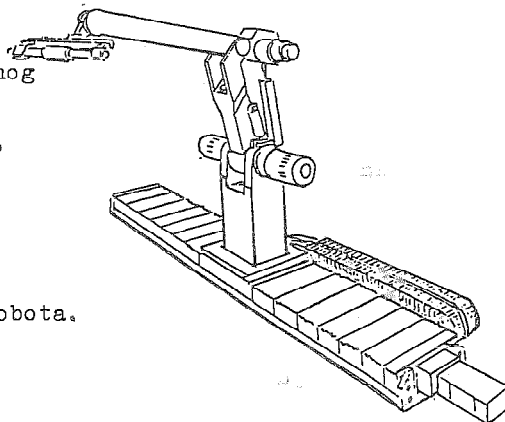
Prikaz radnog prostora industrijskog robota RG-01 dat je na sl. 2.

Šesti stepen slobode, translatorni modul "X", izveden je kao opcija industrijskog robota RG-01, čijom se primenom u znatnoj meri povećava zapreminski radni prostor ovako projektovanor mobilnog robota, što je od izuzetnog značaja kod primene robota pri opsluživanju mašina alatki kao i kod određenih vrsta procesnih zadataka. Pogon translatornog modula



Sl. 2 Prikaz radnog prostora robota

definisana je spregom DC jedinice pomaka i prenosnog sistema u kojem figuriraju zavojno kuglično vreteno, kao i sto sa linearnim kotrljajnim vodjicama. Na sl. 3 prikazana je kompletna konfiguracija mobilnog industrijskog robota.



Sl. 3 Prikaz mobilnog robota

Svaka osa ima induktivne senzore za dovodjenje u nultu poziciju i registrovanje prekoračenja ugaonih hodova. Ose stepeni slobode za pozicioniranje /1, 2 i 3/ kao i translacioni modul imaju pored toga i mehaničke graničnike prekoračenja hodova iz sigurnosnih razloga.

Upravljački sistem industrijskog robota predstavlja mikroprocesorski robot kontroler sa razvijenim operativnim sistemom, koji omogućava korisniku programiranje izvršenja komplikovanih zadataka. Programiranje se izvodi korišćenjem portabl jedinice, dijalogom sa upravljačkim sistemom na jed-

nom od raspoloživih jezika.

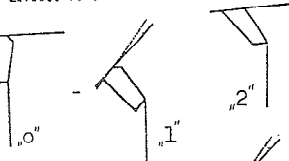
Robot kontroler ima mogućnost simultanog upravljanja do šest osa sa linearnom, cirkularnom ili vektorskom interpolacijom. Odredjene funkcije frekventnog karaktera, kao što je poletizacija, je programiraju korišćenjem standardnog software-a.

Projektovanje noseće strukture industrijskog robota izvedeno je na osnovu statičkog i dinamičkog proračuna primenom paketa programa STRESS i SAP. Neki od rezultata dobijenih primenom navedenih paketa dati su na sl. 4 i 5.

"0" - položaj

OPT 3 UMAX 7.8158E-04

KONTROLER POLOŽAJA



"3" - položaj

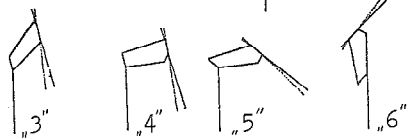
OPT 3 UMAX

1.5722E-02

"1" - položaj

OPT 3 UMAX

1.2755E-02



"4" - položaj

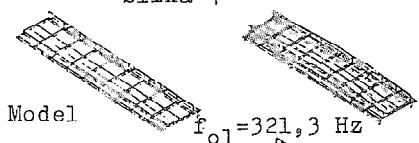
OPT 3 UMAX

1.4723E-02

"2" - položaj

OPT 3 UMAX

1.0825E-03



"5" - položaj

OPT 3 UMAX

1.0283E-02

Model

$f_{01}=321,3 \text{ Hz}$

"6" - položaj

OPT 3 UMAX

1.5552E-02

$f_{02}=421,8 \text{ Hz}$

$f_{03}=458,5 \text{ Hz}$

slika 4

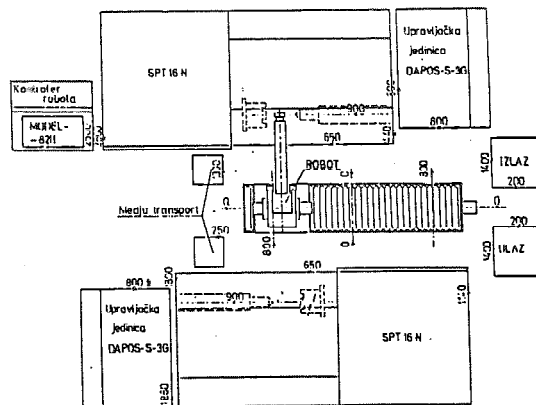
slika 5

Izbor DC servo aktuatora izveden je metodom ekstremnog položaja, pod uslovima kompenzacije statičkih momenata sistemim protivtega i zatvorenim sistemom statičkog uravnoteženja.

## 3. ZAKLJUČAK

Modularni koncept robota, jednostavan pristup komponentama i podsklopovima, širok spektar dijagnostičkih funkcija obezbeđuju visoku produktivnost i redukciju troškova održavanja. Modularnim konceptom omogućena je i prolagodljivost robota za različite uslove eksploatacije i ugradnje. Pored standardne verzije vertikalne ugradnje sa obrtnom bazom na podu, moguća je i bočna ili vertikalna ugradnja sa bazom na tavanici.

Detaljan prikaz mogućeg radnog mesta industrijskog robota, iz pogona SOUR-a "GOŠA" S.Palanka, dat je Lay-outom na sl. 6.



Sl. 6 Lay-out radnog mesta IR RG-01

## R e f e r e n c e

- /1/ Milutinović, D., Milačić, V.: Ispitivanje dinamičkog ponašanja industrijskih robota i manipulatora, VII JUPITER-konferencija, Opatija, 1981.
- /2/ Milačić, V., Glavonjić, M., Majstorović, V.: Analiza razvijenih FTS sistema u svetu, VIII JUPITER-konferencija, Zvečevo, 1982.
- /3/ Spasić, Ž., Filipović, M.: Osnovne postavke za projektovanje tehnološke ćelije, VIII JUPITER-konferencija, Zvečevo, 1982.
- /4/ Milutinović, D., Milačić, V.: Opšta metodologija sistem analize industrije sa stanovišta primene robota, IX JUPITER-konferencija, Herceg Novi, 1983.
- /5/ Milačić, V., Milutinović, D.: Automatsko projektovanje industrijskih robota, III jugoslovenski simpozijum "Nove tehnologije u strategiji razvoja industrije prerade metala", Cavtat, 1984.
- /6/ Milačić, V.: Fabrike budućnosti i roboti, Zbornik radova VII jugoslovensko savetovanje korisnika i proizvođača numerički upravljanih mašina alatki i robota NUMA & ROBOTI, Beograd, 1984.
- /7/ Milačić, V., Kalajdžić, M., Milutinović, D.: Simulacione metode za analizu zadataka robota u FTS na bazi veštačke inteligencije, Zbornik radova VII jugoslovenskog savetovanja NUMA & ROBOTI, Beograd, 1984.
- /8/ Čović, N., Čović, N.: Izbor DC servo motora metodom eksternog položaja, XII JUPITER-konferencija, Tehnološki sistemi za 21. vek, Cavtat, 1987.
- /9/ Čović, N., Milačić, V.: Robot-selektor, XIII JUPITER-konferencija, Cavtat, 1987.
- / / Čović, N. Dj.: Razvoj pilot ekspertnog sistema - ROBEXP za konceptijsko projektovanje industrijskih robota na bazi inženjerskog znanja, magistarski rad, Mašinski fakultet, 1988.



V.Milačić, N.Čović, S.Radosavljević, Lj.Milošević

## DIE ENTWICKLUNG DES INDUSTRIELLEN ROBOTERS RG-01

In der Arbeit wird die Beschreibung des entwickelten industriellen Roboters RG-01 der Antropomphen Konfiguration gegeben. Er ist zur Vollziehung eines breiten Spektrums der Prozessung Manipulativartiger Aufgaben bestimmt. Die tragende Konstruktion ist als vertikale Gelenk-Hand ausgeführt worden. Jede Achse ist angetrieben mit den DC Servomotoren über einem kompakten harmonischen reduktionellen Mechanismus. Der Motor, der Reduktor, der Verschlüsser, der Tachgenerator und die Bremse sind an die gemeinsame Spindel verbunden. Die Achse 2 ist pneumatisch im Gleichgewichtszustand und die Achse 3 ist im Gleichgewichtszustand mit dem Gewicht des Antriebssystem des Blocks für die Orientation. Der Block für die Orientation enthält zwei Möglichkeiten der Bewegung (4 und 5) die mit den DC Servomotoren über reduktionellen und übertragbaren Mechanismus angetrieben sind. Wegen des statischen und dynamischen Gleichgewichtszustand sind diese Motoren disloziert.

Jede Achse hat Induktionssensoren zur Zuführung in die nulte Position und die Registration der Überschreitung der maximalen Winkel-gänge aus Sicherheitsgründen. Der Robotkontroleur hat die Möglichkeit der simultaner Steuerung bis zu 6 Achsen und versichert die Ausführung der komplexen Aufgaben. Das modulare Konzept des Roboters, einfache Zugänglichkeit zu den Komponenten, ein breiter Spektrum der diagnostischen Funktionen, versichert hohe Produktivität und die Reduktion der Instandhaltungsspsesen. Mit dem modularem Konzept ist aush die Anpassungsfähigkeit des Roboters für verschiedene Bedingungen der Explotation und der Einbauung ermöglicht.

T. Maneski<sup>\*</sup>

PREPROCESSOR ZA SISTEM PRORAČUNA MAŠINA ALATKI

1. UVOD /1, 2/

Preprocessor predstavlja prvi modul sistema proračuna kojim se za računski model strukture kreiraju i pripremaju ulazni podaci za potrebe proračuna (procesora). Ovdje se, takodje, napominje da i modeliranje strukture (preslikavanje fizičkog modela preko matematičkog u računski model) predstavlja veoma važnu fazu sistema proračuna. Kod ove faze prisutna je kreativnost korisnika uz mali rad na računaru, dok je kod preprocesora obrnuto.

Korišćenje preprocesora predstavlja najosetljiviju fazu sistema proračuna koja vrlo često dugo traje.

Za većinu proračuna obavljenih pomoću MKE je karakterističan veliki broj ulaznih podataka vezanih za: koordinatne čvorova (tačaka), definiciju elemenata, veličine opterećenja, granične uslove i dr. Priprema navedenih ulaznih podataka predstavlja mukotrpan posao koji je veoma često podložan greškama. Utvrđivanje ovih grešaka u prvoj fazi rada je skoro nemoguće, odnosno pronalaženje grešaka je proces koji oduzima dosta vremena.

Zbog gore navedenih činjenica pojavila se potreba za razvojem programa vezanih za generisanje mreže konačnih elemenata. Dalje, da bi se uštedelo na računarskom vremenu poželjno je da se ova faza obavlja na personalnom računaru a da se proračuni obavljaju na većem računaru (mora da postoji veza PC računar). Ova koncepcija predstavlja deo zamišljenog i ostvarenog sistema proračuna.

Razvijeni programi kompleksnog sistema preprocesora su:

- LOKGEN - Lokalno generisanje mreže konačnih elemenata - primitivi
- GLOBGEN - Globalno generisanje mreže konačnih elemenata
- REGMKE - Generisanje mreže konačnih elemenata na osnovu grube podele (regiona)
- GRAFMKE - Grafička kontrola i verifikacija ulaznih podataka

---

\* mr Taško Maneski, dipl.inž.maš., asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, ul. 27. marta 80, 11000 Beograd

KONTMKE - Programska kontrola ulaznih podataka i grafika  
 OPTNUM - Optimizacija numeracije čvorova - renumeracija  
 MKEKONV - Konverzacija MKE modela u solid model i obrnuto i konverzacija MKE modela u ACAD oblik.

## 2. RAZVIJENI SISTEM PREPROCESORA /1/

Ideja vodilja pri koncipiranju sistema za generisanje je da isti ne zavisi od programa za proračun MKE. Za razvijene programe proračuna MKE automatski se generiše potrebna ulazna datoteka, dok se prilagodjavanje drugim programima može izvršiti dosta jednostavno pisanjem dodatnih rutina (ili proširenjem postojećih) za potreban vid zapisa generisanih podataka.

Koncipirani sistem je dosta usko vezan za generisanje mreže konačnih elemenata, mada se isti može uspešno koristiti i za druge funkcije u širem CAD sistemu. Sistem je prvenstveno orijentisan ka generisanju modela mašina alatki i njima sličnim strukturama, ali se sigurno može primeniti i za ostale vrste struktura (u krajnjem slučaju programi se mogu koristiti kao dobar editor ne vodeći računa o potrebnom formatu ulazne datoteke).

Svi programi i funkcije su modularno razvijani i moguće je iste proširiti i dodavati. Mnoge funkcije (podprogrami) su opšteg karaktera i nezavisne su pa se mogu koristiti pri koncipiranju nekog drugog sistema i/ili za vezu sa postojećim sistemima (npr. kao aplikativni programi) za geometrijsko modeliranje proizvoda.

Programi su pisani u standardnom FORTRAN jeziku i moguće ih je instalirati na sve sisteme koji sadrže ovaj jezik uz neznatne izmene. Svi programi, pa i ovi, su paralelno razvijeni na DEC mašinama (PDP 11, VAX) i IBM PC kompatibilnim računarima.

Potrebni ulazni podaci koji opisuju fizički, matematički i računski model strukture, za potrebe procesora MKE se mogu svrstati u tri celine:

- a) Naslov, glavni kontrolni slog i koordinate čvornih tačaka sa svojim graničnim uslovima (stepeni slobode),
- b) Sve vrste i tipovi konačnih elemenata sa svojim potrebnim podacima, i
- c) Modelirano i specificirano opterećenje.

Ovo omogućuje da se sve celine mogu generisati i korigovati posebno, kao i zajedno, a takodje da se i dopunjuju specifičnim podacima. Zbog nezavisnog razmatranja svih celina kreiraju se tri datoteke koje su u procesu generisanja nezavisne, a u svim programima imaju istu strukturu.

Prvu osnovnu stvar pri generisanju predstavlja definisanje skupa čvoro-

va koji opisuje geometriju i mrežu konačnih elemenata računskog modela strukture. Izbor numeracije čvorova predstavlja najdelikatniji posao jer treba da pomiri dve kontradiktorne stvari. Prvo, generisanje je mnogo otežano kada se vodi računa o numeraciji (mogu se uzimati i neki fiktivni čvorovi koji umnogome olakšavaju generisanje) i drugo da je od numeracije čvorova, tj. njihovog povezivanja pri formiranju konačnih elemenata, direktno zavisna širina globalne matrice krutosti, pri čemu sa povećanjem iste, vreme rada računara eksponencijalno raste. Ovaj problem se rešava optimizacijom numeracije čvorova i/ili primenom podstrukture. U razvijenom preprocesoru je prisutan i ovaj modul (funkcija).

Analizirani razvijeni sistemi za generisanje mreže konačnih elemenata (posebno kod PC-a) se usko vezuju za vrstu i tip konačnog elementa pri čemu se moraju definisati svi potrebni podaci, što ponekad otežava posao. Ovo onemogućava primenu razvijenog modela na druge programe i u druge svrhe.

Zbog univerzalnosti primene razvijeni sistem geometrijskog modeliranja u prvoj fazi (može biti i krajnja) generiše elemente bez specifičnih podataka koji zavise od tipova elemenata. Svi konačni elementi su svrstani u tri vrste i to:

- linijske,
- površinske, i
- zapreminske.

Navedeni elementi se dobijaju povezivanjem već definisanih i numerisanih čvorova navodeći samo numeraciju čvora, dok se vrednost koordinata istog nalazi na drugom mestu. Iz ovog proizilazi da se čvorovi nezavisno definišu i numeriču od elemenata, što predstavlja veoma značajnu činjenicu i znatno olakšava rad. Na početku primene MKE ova činjenica se teško može shvatiti i predstavlja veliku prepreku pri definisanju geometrije modela.

Kreiranje proširene datoteke elemenata (sa potrebnim podacima za opis elemenata) se preporučuje i obavlja nakon izvršene kontrole datoteka tačaka i elemenata.

Generisanje datoteke opterećenja ne predstavlja značajan problem i to predstavlja poslednju stavku u generisanju. Mnogo veći problem je modeliranje i specificiranje opterećenja (kod tačaka i elemenata je obrnuto).

Zbog kompleksnosti geometrije nosećih struktura mašina alatki (2.1/2D i 3D modeli) pristupa se generisanju delova (podсистема, podstrukture) celokupne strukture. Ti podсистemi su nazvani "primitivi" strukture. Oni mogu biti tako koncipirani da kod primene podstrukture ujedno predstavljaju definisanu podstrukтуру. Osnovna osobina "primitiva" je jednostavna geometrija (mada i složene

na struktura može postati primitiv), da su numeracija čvorova i elemenata svih primitiva međusobno nezavisne i da počinju iz početka ("lokalna numeracija" u koordinantnom sistemu primitiva koji se naziva "lokalni koordinantni sistem"). Celokupna struktura se dobija sabiranjem primitiva (celog ili delimičnog) pri čemu se automatski vrši renumeracija čvorova i elemenata. Ovo obezbeđuje nesmetano sabiranje različitih vrsta konačnih elemenata (linijskih, površinskih i zapreminskih) što je po pravilu uvek prisutno kod nosećih struktura mašina alati. Pre sabiranja primitivi sa različitim koordinatnim sistemom od globalnog se translacijom i/ili rotacijom dovode u zajednički koordinantni sistem-globalni.

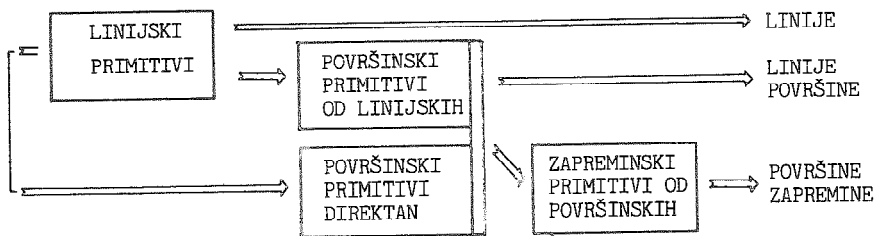
Pored ovog načina paralelno je razvijen i podjednako koristan sistem za generisanje tačak i elemenata direktno u globalnom koordinantnom sistemu i globalnom numeracijom. Kao što je već rečeno i globalna i složena struktura može postati primitiv. Dosta često može primitiv predstavljati ujedno i celokupnu strukturu.

Za izložene potrebe razvijena su dva kompleksna programa i to:

- LCKGEN - generisanje primitiva, i
- GLOBGEN - globalno generisanje strukture.

Programi imaju mogućnost unosa podataka sa terminala ili sa datoteke ulaznih podataka.

Razvijeni sistemi generisanja primitiva prikazan je na slici 1. Sistem omogućuje da dobijemo linijske, površinske i zapreminske primitive. Površinske primitive možemo dobiti direktno ili iz prethodno generisanog linijskog primitiva, dok zapreminski dobijamo samo iz površinskog.



Slika 1. Razvijeni sistem generisanja linijskih, površinskih i zapreminskih primitiva

Razvijeni primitivi generišu novi skup podataka na osnovu odgovarajućih matematičkih i drugih operacija nad prethodno generisanim skupom podataka (počinje se od samo definisanih početnih vrednosti primitiva). Zamišljeno je da se složeniji primitivi generišu od prostijih (zapreminski od površinskih, povr-

šinski od linijskih ili direktno i linijski od jednog čvora). Sa linijskom primitivom se automatski generišu samo linije, sa površinski linije i površine i sa zapremskim površine i zapremine.

Detaljna struktura programa LOKGEN prikazana je na slici 2, dok je program GLOBGEN prikazan na slici 3. Zbog obimnosti funkcije programa, algoritmi i matematički opisi nisu prikazani.

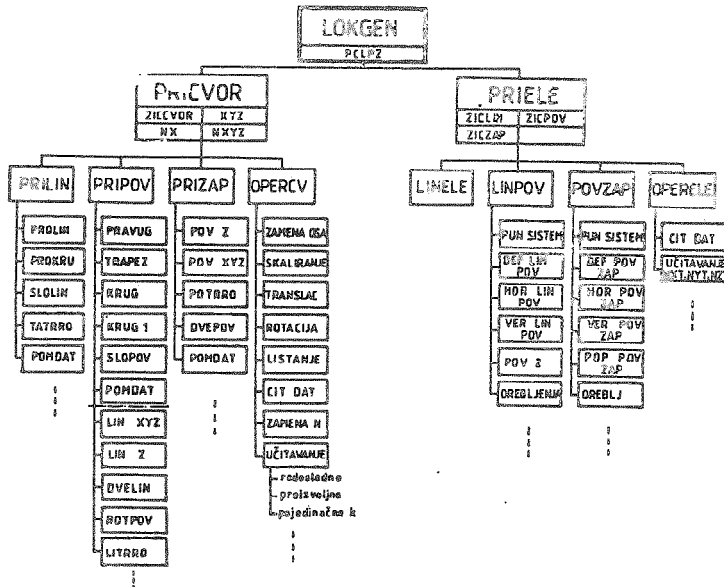
Program REGMKE ima zadatak da za već modeliranu strukturu (obično grupu) generiše finiju podjelu mreže konačnih elemenata.

GRAFMKE je program za grafičku kontrolu i verifikaciju modela, deformisane strukture i glavnih oblika oscilovanja. Program je pisan tako da ne zavisi od grafičkog terminala na kome se vrši prikaz (uz malo promena u programu može se instalirati na razne sisteme). Komunikacija sa programima se vrši putem menija.

KONTMKE je program za kontrolu ulaznih podataka i on se izvršava posle generisanja a pre proračuna. Program iznalazi sve moguće formalne i suštinske greške i daje poruku o tipu greške.

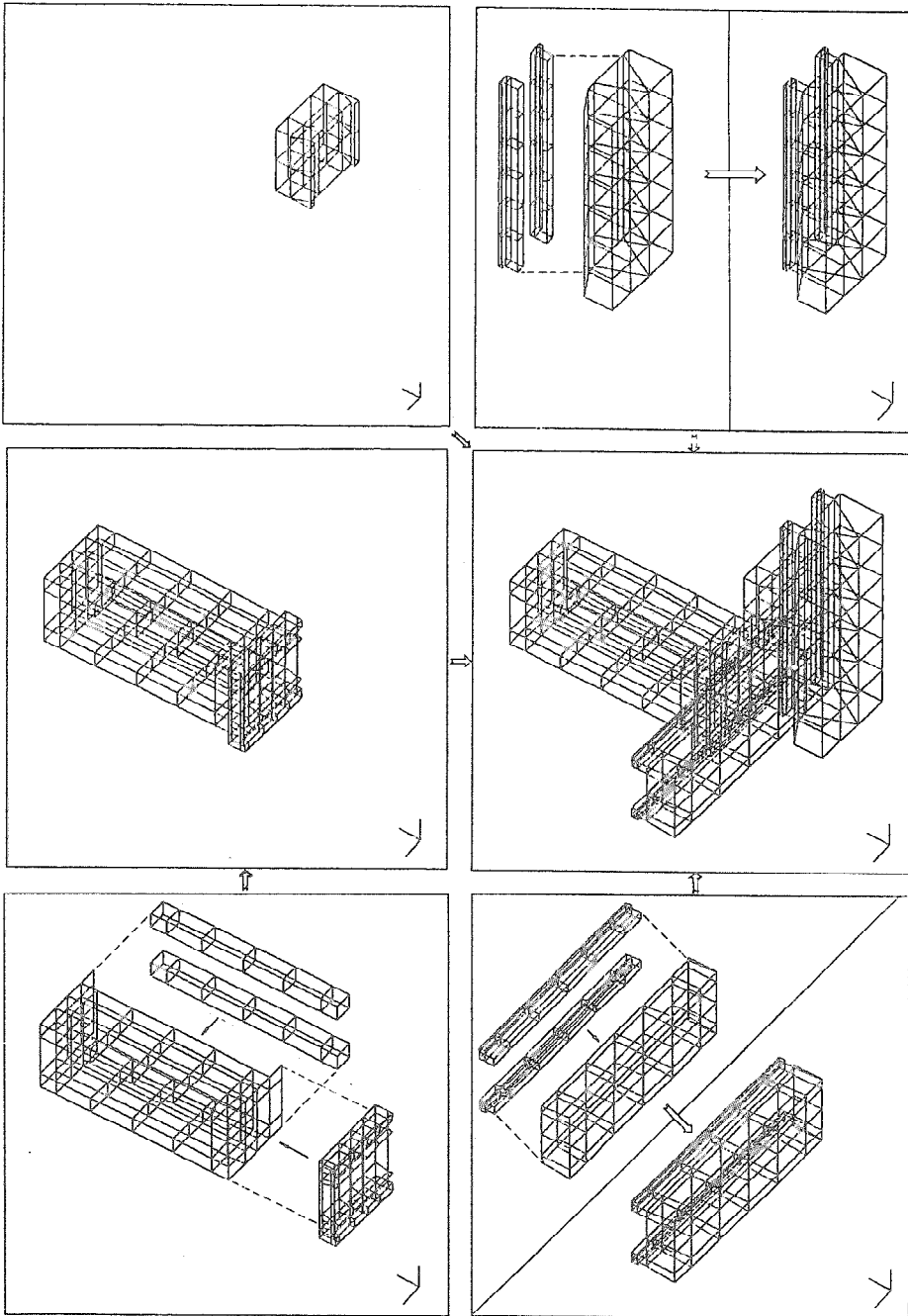
Optimizacija numeracija čvorova se ostvaruje programom OPTNUM i često predstavlja nezaobilaznu fazu rada.

Na kraju uradjena je konverzija generisanog modela ovim preprocesorom u uz SOLID model i obrnuto, kao i dvosmerna konverzija prema ACAD programu (samo za PC). Ovom funkcijom preprocesor dobija viši nivo kvaliteta.



Slika 2. Struktura programa LOKGEN





Slika 4. Primer modeliranja geometrije obradnog centra



linija, od linije površina ili direktno površina (linije i površine) i od površine zapremine (linije, površine i zapremine). Dalje, preprocesor ima mnogo funkcija koje su veoma korisne u modeliranju (matematičke operacije nad generisanim čvorovima korekcije, kopiranja, čitanje dodatnih datoteka, razne vrste učitavanja i dr.). U preprocesoru su uvek prisutne jednake i nejednake podele na zadatom segmentu. Preprocesor je kreiran tako da se potrebni parametri za generisanje mogu učitati interaktivno putem dijaloga ili sa ulazne datoteke. Takođe, postoji mogućnost da se nezavisno generišu čvorovi i elementi.

Preprocesor je generisan modularno i može se proširivati. Takođe, on je nezavistan od vrste procesora (MKE) i moguće ga je koristiti za druge funkcije u CAD sistemu.

#### REFERENCE:

- /1/ Maneski, T.: Doktorska disertacija u rukopisu, Beograd, 1989.
- /2/ Priručnik za programe SUPERSAP, MICROTAB i MSC/PAL za PC računare

#### PREPROCESSOR FOR MACHINE TOOLS - PRE FEM

##### S u m m a r y

This paper presents the concept of preprocessor for modelling of machine tools structures for FEM using as well as of some other structures. Modelling of substructures - "primitives" in the local system and their attaching to the global system represents the basis of the concept.

Primitives may be linear, surface or volumetric, obtained with few input data. They are generated in the following way: by appropriate mathematical operations (scaling, translation, rotation, symmetry, etc.) a line is generated from a point, a surface is generated from a line or a surface is generated directly (lines and surfaces); volume is generated from a surface (lines, surfaces and volumes). The preprocessor has got many functions useful for modelling (mathematical operations on generated points, corrections, copying, additional files reading, various kinds of data input, etc.).

The preprocessor has modular structure and may be extended. It is independent of the type of processor (FME) and may be used for other functions in CAD systems.

T. Juriša, Ž. Posilović, M. Čavka (\*\*)

PROJEKTIRANJE ELEMENATA ALATNIH STROJEVA  
POMOĆU RAĆUNALA

1. UVOD

Potražnja za specijalnim alatnim strojevima, transfer linijama i fleksibilnim obradnim sistemima na svjetskom tržištu u stalnom je porastu. Ta proizvodnja je uglavnom komadna proizvodnja koja mora zadovoljavati zahtjeve i ograničenja naručioća. Na projektiranje ovakvih sistema odlazi veliki dio vremena i troškova, kao i na izradu ponude na upit potencijalnog kupca. Skraćivanjem vremena izrade ponude i vremena projektiranja, što znači i mogućnost brže isporuke znatno utječe na konkurentnost proizvođača.

Značajniji napredak na tim područjima moguć je uvođenjem računala, koja su danas već svakodnevnica na mnogim radnim i nastavnim mjestima.

U radu će biti opisan sustav koji je razvijen za izradu ponudbene i projektne dokumentacije, a omogućuje izradu 2D i 3D crteža, izradu tekstualnog dijela dokumentacije, kao i modifikacije napravljenih rješenja.

2. KONCEPT I OSNOVNE POSTAVKE PROGRAMSKOG SUSTAVA

Planirani programski sustav ELOS (Expert-Like Offering System) ispunjava nekoliko zahtjeva kojima se tokom izrade programskog rješenja pridavala posebna pažnja:

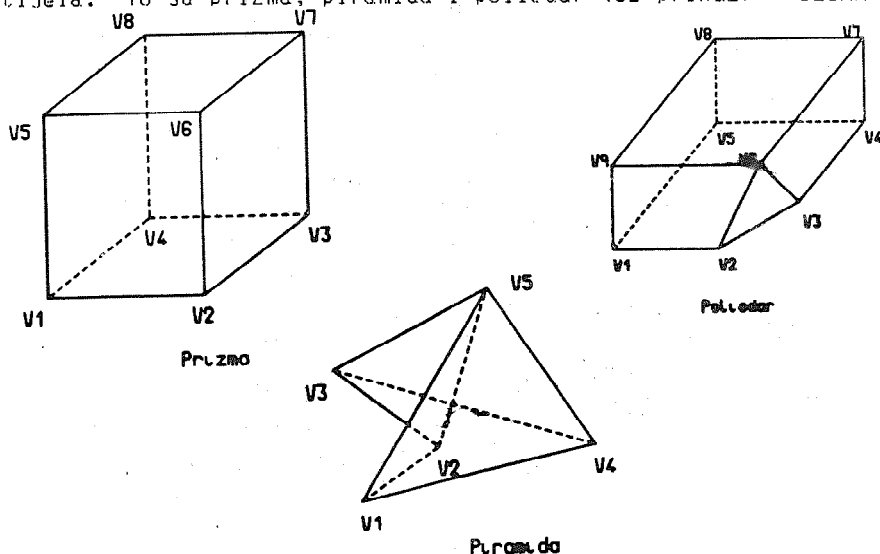
(\*\*) Tatjana Juriša, dipl. ing. elektrotehnike, Prvomajska  
Zagreb - OOUR TSS, Žitnjak bb  
Željko Posilović, dipl. ing. elektrotehnike, Prvomajska  
Zagreb - OOUR TSS, Žitnjak bb  
Marin Čavka, dipl. ing. strojarstva, Prvomajska Zagreb -  
OOUR TSS, Žitnjak bb

- projekt mora biti otvoren daljnjem proširivanju
- koristiti jednostavnu strukturu podataka i programskog dijela
- programsko rješenje mora biti neovisno o opremi
- programsko rješenje mora korisniku omogućiti što jednostavniji interaktivni rad

Takav osnovni koncept sustava traži uključivanje stručnjaka raznih profila u razvoj sustava i izradu rješenja, te osigurava dobre performanse gotovog programskog proizvoda.

Da bi se zadovoljile navedene stavke, cijeli sustav je organiziran modularno, po segmentima, sa vlastitim internim i eksternim strukturama podataka. Osim toga, korisnički dio je razvijen tako da se obzirom na interaktivne rutine neophodne za efikasnu suradnju sustava i korisnika rad sa sistemom može naučiti za nekoliko sati.

Počelo se od izrade grafičkog prikaza, za što je pretpostavka, pored ostaloga, i postojanje i korištenje odgovarajućih baza podataka ugradbenih elemenata, kao i već realiziranih strojeva i rješenja. Stvorena je baza podataka koja se stalno dopunjava, kako novim ugradbenim elementima, tako i dijelovima već realiziranih strojeva, čime se sve kompleksniji dijelovi nalaze u bazi kao već gotova rješenja. Za opis tipiziranih modula iz baze podataka, koji su osnovni elementi za izgradnju specijalnih alatnih strojeva, razvijen je jednostavni grafički ulazni jezik. Taj grafički ulazni jezik bazira se na tome da se model svake jedinice može predstaviti nakupinama tri jednostavna geometrijska tijela. To su prizma, piramida i poliedar (3D prikaz) - SLIKA 1.



Slika 1 - Primjer piramide, prizme i poliedra



- ELOS-MA (engl. main control) je glavni segment sustava koji omogućuje djelovanje svih ostalih segmenata kao cjeline.
- ELOS-UN (engl. unit generator) omogućuje modeliranje novih strojnih dijelova uz pomoć grafičkog jezika te njihovu pohranu u grafičku bazu podataka. On u sebi sadrži kako generatore lipskih jedinki tako i interpreter grafičkog jezika za osnovne geometrijske oblike (valjak, prizmu, stožac, kuglu, poliedar)
- ELOS-MO (engl. modeller) omogućuje interaktivno modeliranje strojeva odnosno njihovih dijelova u 3D-prostoru uz pomoć modula iz baze podataka, te pospremanje gotovih (kompleksnih) rješenja u bazu podataka.
- ELOS-3D je segment koji omogućuje izradu prikaza 3D modela, uz definiranje položaja oka i smjera pogleda, prozora, projekcije (ortogonalne projekcije, perspektivna projekcija), te uklanjanje stražnjih ploha i skrivenih linija. Termin "stražnje plohe" označava one plohe koje leže u takvim ravninama čija je Z-komponenta normale u smjeru pogleda. Takve su plohe uvijek nevidljive za promatrača, a vrlo ih je jednostavno ukloniti. Zbog toga se za manje kompleksne scene kod njihovog slaganja može izabrati takav način prikaza koji je vrlo brz, a ipak znatno pregledniji za direktnog korisnika od prikaza u žičnoj formi. Naravno, u slučaju da prikaz postane nepregledan iz bilo kojeg razloga, uvijek je moguće izabrati prikaz sa otklonjenim skrivenim linijama.
- ELOS-2D je segment za izradu crteža dijelova stroja, za editiranje slike dobivene segmentom ELOS-3D, te za kontrolu plotter-a. Segment omogućava interaktivno crtanje sa svim pogodnostima CAD-a (micanja područja, osno ili centralno simetrična preslikavanja, rotaciju područja, automatsko ili poluautomatsko kotiranje, ispisivanje teksta, a posjeduje i datoteku simbola koja se može jednostavno nadopunjavati. Segment se može koristiti i nezavisno od sustava kao snažni CAD paket za izradu tehničkih crteža.
- ELOS-WM (engl. window manager) je nadzorni segment koji ima za zadatak interakciju sa korisnikom uz pomoć nekoliko razina menija. Sve operacije unutar sustava se pokreću, kontroliraju i završavaju uz pomoć ELOS-WM.
- ELOS-ST (engl. selection techniques) je interaktivni segment koji podržava lociranje elementa u dvodimenzionalnoj slici na zaslonu, čime omogućuje njihovu interaktivnu obradu. Element može biti vrh, brh, poligon, objekt ili jedinka, a na temelju lociranog objekta ELOS-ST određuje pripadni dio modela u strukturi podataka.
- ELOS-GP (engl. graphic package) je biblioteka grafičkih rutina sličan GKS-u, jer su neki osnovni koncepti GKS-a korišteni u njegovom razvoju. Međutim, ELOS-GP sadrži i dodatne elemente koji omogućuju segmentaciju prikaza, micanje

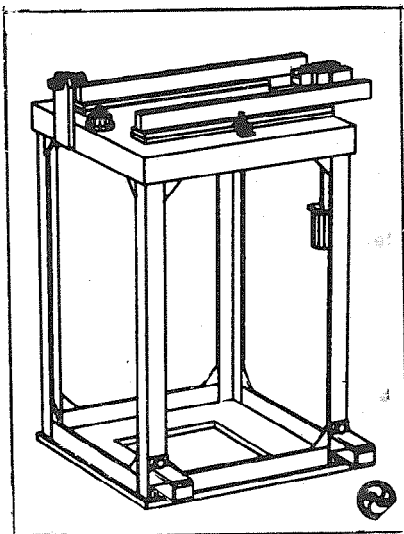
dijelova prikaza u nekoliko razina itd. ELOS-6P (nazvan još i PRIM) se može koristiti iz bilo kojeg programskog jezika, a zbog njegove arhitekture je jednostavno u njega ubaciti podršku (driver) za dodatne grafičke naprave.

- ELOS-DM (engl. data manager) segment sadrži ulazno-izlazne rutine za bazu podataka sustava ELOS. Sve rutine bazirane su na mogućnosti direktnog pristupa do bilo kojeg podatka. Odvojeni su grafički od tekstualnih podataka, te podataka za kalkulaciju cijena.
- ELOS-TE (engl. text editor) je segment koji omogućava izradu dokumentacije, te njezino on-line formatiranje. To je posebni editor pisan u TPU-jeziku (engl. Text Processing Utility) kojim je pisan i ovaj tekst. To je jedini segment koji se ne može prenositi na druga računala (osim DIGITAL VAX, UMS operacijski sistem, verzije 4.2 ili više) jer su zbog neophodne brzine do kraja iskoristene specifične mogućnosti računala. Međutim, na drugim računalima moguće je u sustav uključiti uređivače teksta koji se i inače koriste na tim računalima.

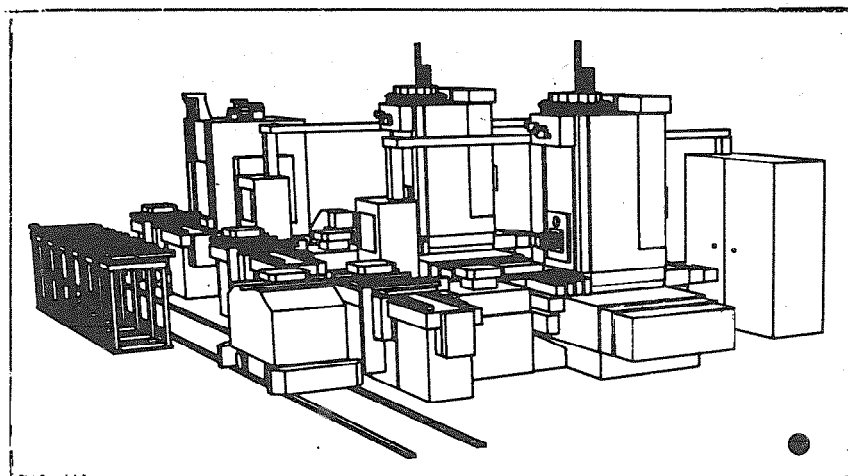
Ostali segmenti vidljivi u strukturnoj shemi se još razvijaju. Oni će omogućavati analizu strukture stroja, proračunavanje kabljskih puteva, te proračun cijene stroja.

#### 4. PRIMJER KORIŠTENJA PROGRAMSKOG PAKETA

Dan je primjer prikaza izrađenih uz pomoć programske podrške sustava ELOS i u sklopu projekta ponude jednostavnog fleksibilnog obradnog sistema iz proizvodnje SOUR PRUOMAJSKA, OOUR TAS. Sistem se sastoji od dvije obradne stanice tipa GPK sa okretnim stolovima i automatskom izmjenom alata, uređaja za uklanjanje strugotine, te upravljanih kolica. Izradak se pričvršćuje na euro-paletu - SLIKA 3 i SLIKA 4.



SLIKA 3 - Stol za odlaganje paleta



SLIKA 4 - Jedan od pogleda

Modulom ELOS-MQ je izgrađen 3-D model sistema, te je izvršen prikaz modulom ELOS-3D s različitim pogledima. Prikazi su preneseni u ELOS-2D gdje je doctan okvir i simbol "Prvomajske", te su prikazi smanjeni na potrebne dimenzije i iscrtani.

## 5. ZAKLJUČAK

Iz teksta je vidljivo da se opisani sustav (ELOS) sastoji od nekoliko logičkih i funkcionalnih cjelina tj. modula. Gore spomenuti moduli predstavljaju zaokruženu cjelinu koju je moguće koristiti, i koja je korištena prilikom projektiranja elementa fleksibilnog obradnog sistema prikazanog u članku. U planu je i izgrađivanje daljnjih modula, kao na primjer modul za optimiranje kabelskih spojeva, modul za analizu strukture stroja, modul za kalkulaciju cijene. Realizirani programski alat omogućava kreiranje baze podataka, baratanje dijelovima iz baze podataka u 3-prostoru, interaktivno slaganje takvih modela u trodimenzionalnu scenu, otklanjanje skrivenih linija, perspektivnu projekciju, transformacije prozora i otvora, povećalo, prikaz scene sačinjene od grupe tako opisanih objekata., te editiranje tako nastale slike u 2D-prostoru, kao i crtanje nove slike u 2-D prostoru. Ovaj rad pokazuje mogućnost upotrebe računala pri konstruiranju i projektiranju. Osnovna prednost je brzina i ležernost interaktivnog rada, što omogućava i veću slobodu razrade različitim varijanti rješenja, a time i odabir najpovoljnijeg.

## Reference

- /1/ Barr P.C., Krimper R.L., Laezer M.R., Stammen C., CAD: Principles and applications, Prentice-Hall inc., Englewood Cliffs, 1985.
- /2/ Giloi W.K., Interactive computer graphics, data structures, algorithms, languages, Prentice-Hall inc., Englewood Cliffs, 1978.
- /3/ Louthrel P.P., A solution to the Hidden-line Problem for Computer-Drawn Polyhedra, IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS VOL C-10, NO.3, March 1970.
- /4/ Newman W.M., Sproull R.F., Principles of interactive computer graphics, Mc Graw-Hill Book Company 1979., II edition



- /5/ Salmon R., Slater M., Computer graphics: systems and concepts Addison-Wesley publishing company, 1987.
- /6/ Sutherland I.E., Hodgman G.W., Reentrant polygon clipping, Evans and Sutherland Computer Corporation, ACM, 1974.
- /7/ Sutherland I.E., Sproull R.F., Schumacher R.A., A Characterisation of ten hidden-surface algorithms, Computing Surveys, Vol 6, No. 1, 1974.
- /8/ Sužnjević U., Računarski postupci prikaza grupe objekata, Magistarski rad, Zagreb 1981.
- /9/ Turk S., Računarska grafika - osnovi teorije i primjene Školska knjiga, Zagreb, 1980.

T. Juriša, Ž. Posilović, M. Čavka

#### COMPUTER AIDED DESIGN OF MACHINE TOOL MODULES

##### Summary

The concept of an expert-like offering system is presented. The system is designed to produce documentation for machine tools. The architecture of the system and its basic segments are described. Enclosed drawings help to interpret the described results.

---

## 22 ЈУГОСЛОВЕНСКО СОВЕТУВАЊЕ ЗА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

ОХРИД 24 - 26 мај 1989 г.

---

M. Popović, M. Djapić \*

CAE/CAD/CAPP-SISTEM ZA STANDARDNE OBJEKTE, NJIMA SLIČNE I  
OBJEKTE KOJI SE PONAVLJAJU U PROJEKTOVANJU

### 1. U V O D

Projektovanje standardnih objekata, te njima sličnih i objekata koji se ponavljaju u projektovanju, misleći pri tome na proračune, crteže i tehnološke postupke, veoma je važno s obzirom na ukupan spektar objekata jedne firme, pa i šire.

Sistemom se, u stvari, dobijaju izlazi u vidu proračuna, pojedinačnih, standardnih i varijantnih crteža i tehnoloških postupaka, te sistemi za traženje i pretraživanje oblika i objekata.

Da bi se pomenuti zahtevi mogli ispuniti, sistem je koncipiran na tehničkoj bazi podataka, pri čemu se koristi sistem karakteristika.

### 2. CAE/CAD/CAP - SISTEM

#### 2.1 Objekti projektovanja

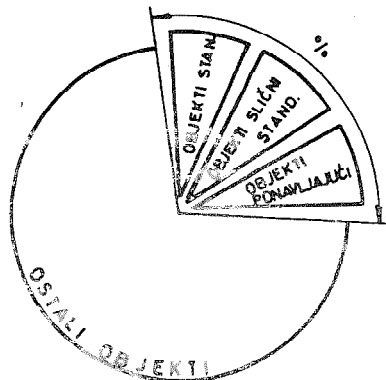
Sistem za projektovanje odnosi se na standardne objekte, njima slične i tzv. objekte koji se ponavljaju u projektovanju. Pomenuti objekti prikazani su na sl. 1.

#### 2.2 Struktura sistema

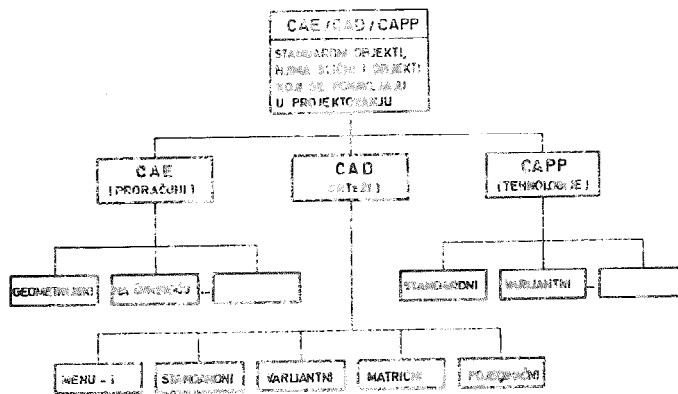
Struktura sistema projektovanja objekata data je na sl. 2.

---

\* Dr Milanko Popović, dipl.maš.ing. savetnik u LOLA Institutu  
Beograd, Bulevar revolucije 84  
Mirko Djapić, dipl.maš.ing. saradnik u LOLA Institutu,  
Beograd, Bulevar revolucije 84



Sl. 1 Objekti projektovanja



Sl. 2 Struktura CAE/CAD/CAPP

## 2.2.1 Definicije pojmova

### 2.2.1.1 CAE/CAD/CAPP

Definicije pojmova za CAE/CAD/CAPP, date su u [1].

### 2.2.1.2 Crtež standardni, varijantni i matricni

Definicije pojmova za ove crteže date su u [2].

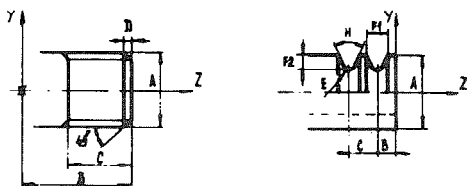
### 2.3 Tehnička baza podataka

Što se tiče tehničke baze podataka, ne ulazeći u njeno detaljno opisivanje, može da se kaže da je ona mrežnog tipa i sastoji se iz:

- DAOS Ø1 - Osnovne datoteke,
- DAST Ø1 - Strukturne datoteke i
- DAKA Ø1 - Datoteke karakteristika.

Pored ove tri datoteke koriste se i dve pomoćne indeksne datoteke koje služe za brzo pretraživanje objekata iz pomenutih datoteka.

Datoteka karakteristika, što je veoma važno, bazirana je na principu sistema karakteristika, koji je ujedno i sistem za opisivanje objekata u bazi podataka. Primer za to uradjen je na sl. 3.



ZAGLAVLJE KARAKTERISTIKA									
OZNAKA	A	B	C	D	E	F	G	H	J
ZNACENJE	PREČNIK	DUŽINA -DUBINA REZAUJA	DUŽINA	ŠIRINA -VISINA	POLUPRE. ZADBLJE -ŠIRINA	ŠIRINA	PREČNIK	UGAO	
OZNAKA U STANDARDU	A1 = A2					F1 = F2			
REDNICA MERE	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	STEPEN	

PRIMEDBA:  
- PREPORUČEN BROJ MESTA U POPISU KARAKTERISTIKA: A = : B = : C = : D = : E = : F = : G = : H = : J =  
- REDOSLED SORTIRANJA: SLEVA;

Sl. 3 Zaglavlje karakteristika elementarnih oblika (E.O)

### 2.3.1 Ulazni nosioci informacija

Od svih nosilaca informacija, navodi se, za ovu priliku, samo za tehničke karakteristike. Za ovaj primer nosilac informacija popunjen je karakteristikama zuplanika.

PODACI									
B.S.	Idn.broj	Karakteristika	Karakteristika	Karakteristika					
1D	9990405A		B2*2*45	C					
		DPOV. TVD. 50+ZHR	BOB. OTVR. SLOBA	0.45*45*2.5	DF1*DF2				
G			H	J					

Sl. 4 Ulazni nosilac informacija datoteke karakteristika

## 3. MODEL CAD-a ZA POJEDINAČNE I MATRIČNE CRTEŽE

Model sistema CAE/CAD/CAPP zasnovan je na modularnom principu i to sa zajedničkom bazom podataka.

U ovom radu opisuje se model CAD-a koji je prikazan na sl. 5.

Kao što se vidi na slici, model se sastoji iz tri, međusobno, povezana dela i to:

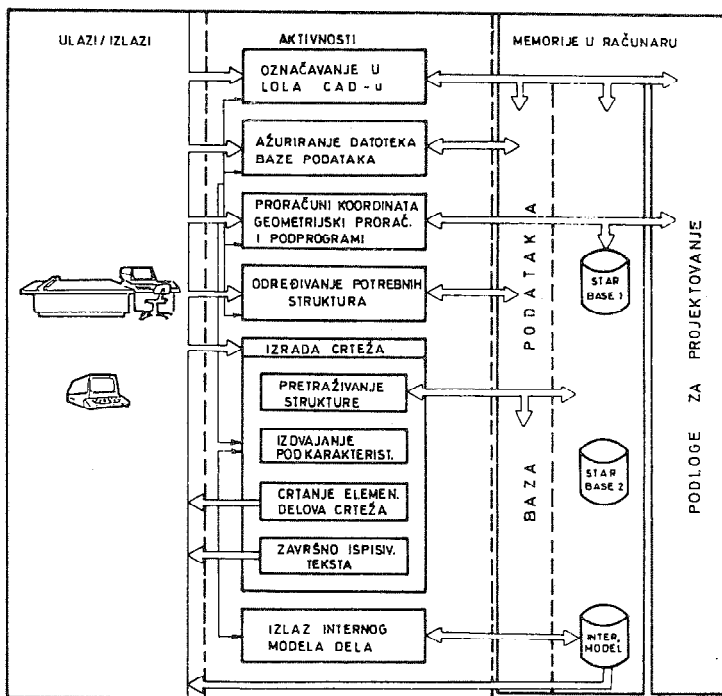
- ulazno/izlaznog
- aktivnosti CAD-a i
- memorijskog dela

### 3.1 Ulazno izlazni deo

Ulazno/izlazni deo, kao što se vidi na slici, sastoji se od A/N terminala, grafičkog terminala, plotera i štampača.

### 3.2 Aktivnosti CAD-a

U delu koji je naznačen kao aktivnosti CAD-a, nalaze se one aktivnosti koje je neophodno izvesti da bi se dobio neophodan crtež kao izlaz na grafičkom terminalu i/ili ploteru. Te aktivnosti dele se na one koje se odvijaju u računaru i one van njega.



Sl. 5 Model CAD podsistema

### 3.2.1 Aktivnosti koje se odvijaju van računara su:

- Označavanje objekata (datoteka baze podataka, podprogrami, elementarni oblici, delovi itd.),
- Odredjivanje potrebnih struktura (sandardni, varijantni, matrični ili pojedinačni crtež) i
- Sistemativovanje podloga za projektovanje.

### 3.2.2 Aktivnosti koje se odvijaju u računaru su:

- Pretraživanje strukture
- Izdvajanje podkarakteristika
- Crtanje elemenata crteža i
- Završno ispitivanjej teksta.

Dakle, potrebno je samo zadati ident broj crteža koji želimo da konstruišemo, pa da dobijemo crtež željenog dela.

To praktično znači, da se, na osnovu njegove strukture, izdvajaju karakteristike i podkarakteristike za crtanje elementarnih oblika.

Sve ovo se ponavlja dok se ne prodje kompletna struktura ident broja objekta. Na kraju se izvodi završno ispisivanje teksta.

### 3.2.3 Memorijski deo modela

U memorijskom delu CAD-a nalazi se tehnička baza podataka, te dve biblioteke grafičkih rutina STARBAS1 i STARBAS2.

### 3.3 Izlazi modela

Kao izlazi modela su:

- proračuni,
- sastavnice
- crteži
- postupci i
- menü-ji

U ovom radu prikazuje se pojedinačni crtež zupčanika kao izlaz, sl. 6.

## 4 Z A K L J U Č A K

U radu je prikazan sistem, odnosno struktura sistema CAE/CAD/CAPP za projektovanje standardnih objekata, njima sličnih i objekata koji se ponavljaju u projektovanju.

Detaljnije je opisan CAD podsistem sa odgovarajućim izlazima (crtež zupčanika I.br. 040681).

Kao što je već rečeno u radu, cec sistem bazira se na tehničkoj bazi podataka za čije je karakteristike korišćen sistem karakteristika.

Ovim sistemom opisuju se svi objekti sistema.





Ceo projekat, koji se radi u LOLA INSTITUTU, odvija se u tri pravca:

- U generisanju objekata u CAD-u,
- u razvoju ostala dva podsistema i
- u povezivanju sva tri podsistema.

Kao što se vidi, ceo sistem bi omogućio integralno projektovanje u smislu proračuna, izrade crteža i izrade tehnoloških postupaka.

## 5 L I T E R A T U R A

- 5.1 M.Popović, R.Antić, Projektovanje proizvoda i tehnologija pomoću računara u sistemu LOLA, LOLA-Stručno-naučni skup, Beograd, 1987.
- 5.2 DIN 199 T1 - Zeichungen
- 5.3 T.Kishinami, S.Kanai, K.Saito, An Integrated aproach to CAD/CAPP/CAM based on Cell Constructed Geometric Model (CGM), International Conference on Intelligent Manufacturing Systems, 16-19 Juni, 1986, Budapest.
- 5.4 M.Popović, Razvoj metoda za optimalno projektovanje alata za obradu rezanjem pomoću računara, dok.dis., Zagreb, 1985.
- 5.5 M.Popović, Opisivanje objekata u alfa-brojčanom sistemu i CAD sistemu sa posebnim osvrtom na sistem karakteristika, LOLA-Stručno-naučni skup, Beograd, 1986.
- 5.6 G.Spur, Frank-Loter Kranse, CAD Technik, C.H.Verlag, München, Wien, 1984.
- 5.7 CAD - Nosruteildatei - Avbeitsanweisung, 1986.
- 5.8 M.Djapić, M.Popović, Automatizacija prafiranja crteža u CAD sistemu, 2. Jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, Cavrat 1989.

M.Popović, M.Djapić

**CAE/CAD/CAPP SYSTEM FOR STANDARD PARTS, PARTS SIMILAR STANDARDS AND PARTS WHICH ARE REPEATING IN THE DESIGNING**

## S U M M A R Y

In this paper is described a system for integral designing standard parts, parts similar standards and parts which

are repeating in the design job. A number of that parts is large enough in frame of company. System is built on modular principle and it consist of three subsystems (CAE, CAD and CAPP). All of this subsystems are in relation with the technical data base.



С. Станковски, Д. Шешлија<sup>\*)</sup>

РАЗВОЈ ЕКСПЕРТНОГ СИСТЕМА ЗА УПРАВЉАЊЕ  
ФЛЕКСИБИЛНОМ ВИШЕПРСТНОМ ХВАТАЉКОМ

1. УВОД

Обликовање флексибилних система у монтажи са функцијом критеријума повишеног степена ефективности, захтева озбиљан развој производних структура способних за прилагођавање променама у околини, отклањање стања у отказу, смањење отуђености и задовољене потреба учесника у процесу рада. Поступак обликовања флексибилних монтажних система, заснован је на принципима поступака груписања, примене елемената флексибилне аутоматизације и РОБОТИЗАЦИЈЕ хватања и операција монтаже.

Индустријски роботи, као доминантни елементи флексибилне аутоматизације, су веома флексибилни у смислу могућности извршавања најразличитијих кретања и обављања сложених операција рада. Највеће ограничење флексибилности робота је способност њиховог терминалног органа (хватаљке, апата...) да се прилагоди променама предмета рада којима треба да рукује. Једно од могућих решења наведеног проблема је примена флексибилних вишепрстних хватаљки - вештачких шака као терминалних органа индустријских робота. На ФТН-ИИС<sup>\*\*)</sup> је развијена флексибилна вишепрстна хватаљка чији ће опис бити дат у поглављу 2, а у току је испитивање њеног утицаја на флексибилност роботизованог монтажних радног места. Флексибилна вишепрстна хватаљка је постављена на стандардни индустријски робот ASEA IRB-L6/2 и за потребе њеног управљања

---

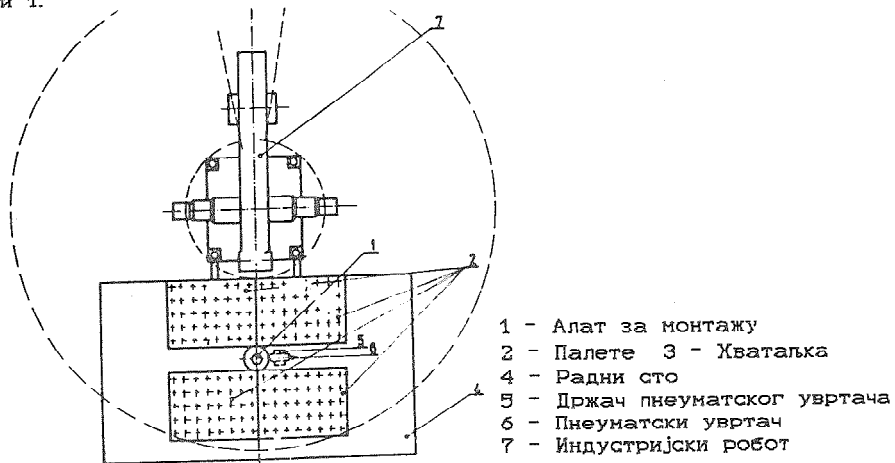
<sup>\*)</sup> Стеван Станковски, дипл.ел.инж., Драган Шешлија, дипл.маш.инж. асистенти на Факултету техничких наука, Институт за индустријске системе, Вељка Влаховића 3, Нови Сад

<sup>\*\*)</sup> ФТН-ИИС Факултет техничких наука, Институт за индустријске системе

развијен је одговарајући контролер. У циљу олакшаног управљања системом робот - хватаљка и касније интеграције роботске визије као и сензорских улаза постављена је основа за експертни систем за управљање "интелигентним" роботом - роботом са софистицираним терминалним органом, сензорима и визијом.

## 2 РОБОТИЗОВАНО МОНТАЖНО РАДНО МЕСТО

Испитивање флексибилности роботизованог радног места у процесима монтаже се врши на реалном производном програму арматура за грејање. На принципима групних токова обликоване су операцијске групе у које улазе предмети рада исте структуре (кућиште, навртка и холендер), истог поступка монтаже (навојна веза) а различитих облика и димензија. У претходној фази испитивања коришћена је једноставна пнеуматска хватаљка (gripper) са посебно обликованим површинама хватања, тако да је робот могао да рукује, без промене хватаљке, са три предмета рада која сачињавају један производ. У случају преласка на монтажу другог производа било је потребно ручно променити плочице на хватаљци које долазе у додир са предметом рада [1]. Постављањем вишепрстне хватаљке омогућава се монтажа више производа без измене хватаљке. У том циљу пројектовано је и реализовано роботизовано радно место приказано слици 1.

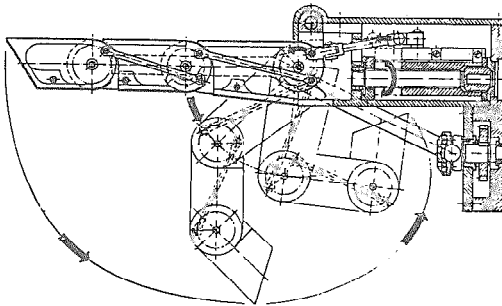


Слика 1. Роботизовано радно место

### 1. ФЛЕКСИБИЛНА ВИШЕПРСТНА ХВАТАЉКА

Флексибилна вишепрстна хватаљка је пројектована на основу

идеја Р. Томовића [2] и М. Ракића [3] а састоји се од 4 артикулисана (озглобљена) прста и палца који има могућност само ротације [4]. Погон је помоћу електромотора и то тако да један електромотор погони два прста који се синхронно савијају у зглобовима. Зглобови прстију нису посебно оснажени већ се помоћу система полуга заједнички закрећу, аналогно савијању прстију људске шаке приликом хватања. Помоћу посебне диференцијалне полуге омогућено је прилагођавање хватке облику предмета који се хвата. Трећи мотор омогућава довођење палца у опозицију са осталим прстима. Попречни пресек хваталке и неколико међу положаја прстију су дати на слици 2.



Слика 2. Флексибилна вишепрстна хваталка

Од осам основних хватава дефинисаних у [5] ова хваталка омогућава реализацију четири хвата:

1. Снажни хват (Power Grasp)
2. Кука хват (Hook Grip)
3. Хват врховима прстију (Pulp Pinch)
4. Бочни хват (Lateral Pinch)

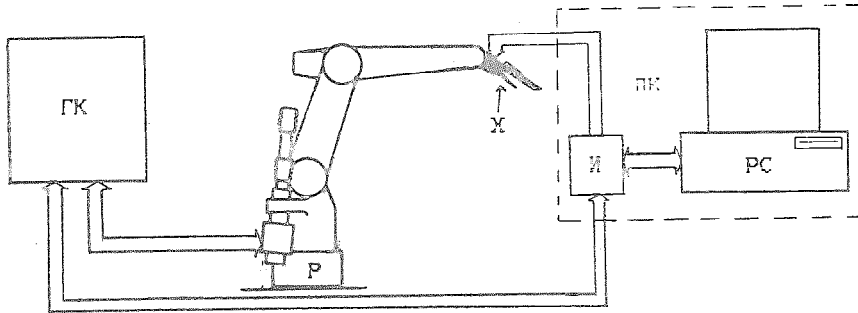
### 3. УПРАВЉАЊЕ ФЛЕКСИБИЛНОМ ВИШЕПРСТНОМ ХВАТАЉКОМ

За управљање роботом служи посебан контролер који се испоручује заједно са њим и прилагођен је њему. Постављањем флексибилне вишепрстне хваталке као терминалног органа индустријског робота указала се потреба за кооперативним управљањем система робот - хваталка. За управљачку јединицу хваталке могуће је изабрати неки од стандардних контролера или преко посебног рачунара обезбедити управљање хватаљком. На тај

начин систем робот - хваталка чини јединствени систем који садржи:

1. главни контролер - управља радом робота
2. локални контролер - управља радом хваталке

Шематски приказ предложене концепције управљачке јединице система робот - хваталка је дат на слици 3 где је: Р - робот, Х - хваталка  
ГК - главни контролер, ЛК - локални контролер, И - интерфејс,  
РС - персонални рачунар



Слика 3. Шематски приказ система робот - хваталка

За правilan рад потребна је синхронизација између главног и локалног контролера а она се обезбеђује помоћу бинарних сигнала. Након довођења хваталке до положаја из кога је могуће ухватити предмет рада ГК шаље сигнал ЛК и тиме иницира акцију хваталке. Радом мотора по одређеном редоследу остварује се желени хват и након тога ЛК слањем сигнала враћа управљање на ГК. Упростијено процес рада можемо описати следећим алгоритмом:

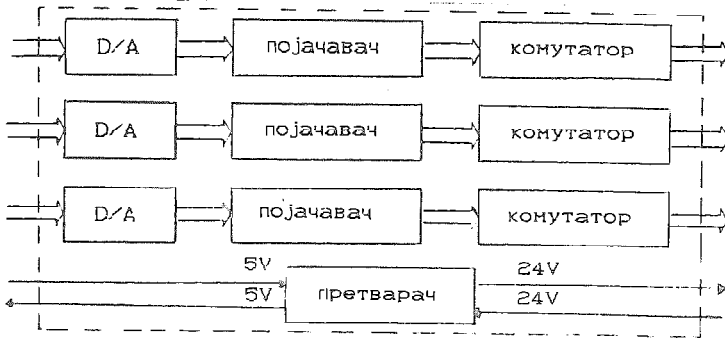
```

иницијализација ГК;
иницијализација ЛК;
понови: доведи робот до места хватања; (управља ГК)
        сигнал ЛК;
        ухвати хваталком; (управља ЛК)
        сигнал ГК;
    све док (не изврши последње хватање);
изврши програм до краја;
крај.

```

Локални контролер који управља радом хваталке сачињавају: IBM XT/AT (или компатабилан) рачунар и интерфејс који је спојен на стандардни паралелни порт рачунара. Интерфејс се састоји из четворобитне дигитално/аналогне (D/A) конверзије, појачивача

сигнала и комутатора, за сваки мотор хваталке (слика 4).



Слика 4. Шематски приказ интерфејса

Интерфејс такође омогућава прилагођавање сигнала упућеног од робота ка рачунару, и од рачунара ка роботу.

#### 4. ЕКСПЕРТНИ СИСТЕМ

Експертни системи као релативно нови приступ у изградњи програмске подршке, налазе све више примена. Експертни систем можемо дефинисати као рачунарски систем који може да реши (предложи решење) проблем(а) користећи људско знање као и знање садржано у самом систему опреме. Код експертних система се могу уочити три међусобно повезана дела: база знања, механизам закључивања и спрега са корисником. Механизам закључивања и спрега са корисником се у литератури често називају љуском експертног система. База знања садржи знање које је специфично за дату област примене експертног система, укључујући чињенице и правила која описују везе, као и искуства и идеје за решавање проблема у датој области. Постоји неколико начина представљања знања. У оквиру исте базе знања могуће је користити више начина за представљање знања. У оквиру постојећих експертних система, три најчешће коришћена начина су:

- продукциона правила (најчешће)
- оквири и
- семантичке мреже.

Механизам закључивања треба да обезбеди:

1. најефикаснији начин за коришћење базе знања
2. да својим деловањем помогне кориснику при коришћењу експертног система



3. да одговори на корисникова питања

4. да покаже како је дошао до решења.

Спрега са корисником треба да олакша комуницирање између корисника и система, и да на лак и једноставан начин искористи механизам закључивања, а са тим и базу знања за решавање проблема [6]. При развоју експертног система за управљање флексибилном вишепрстном хваталком, коришћен је систем за развој експертних система ЕКСПЕРТ-08, који се састоји из три дела: први део се користи при стварању базе знања, други део при одржавању базе знања, а трећи део је љуска експертног система ИС-08 (ЕСИС-08) ЕКСПЕРТ-08 је развијен на Институту за индустријске системе, Факултета техничких наука у Новом Саду. Љуска ЕСИС-08 направљена је са циљем решавања проблема на основу знања које је представљено у виду продукционих правила. Продукциона правила имају следећи облик:

правило: АКО услов(и) ОНДА закључак(акција).

Експертни систем ради тако што покушава да задовољи услове из правила које анализира. Уколико пронађе правило где су задовољени сви услови, изводи се закључак, или се пак спроводи акција. Уколико ни једно правило није задовољено, онда се изводи могући закључак, ако постоје услови за то.

#### 4.1 ЕКСПЕРТНИ СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ФЛЕКСИБИЛНОМ ВИШЕПРСТНОМ ХВАТАЛКОМ

Развој експертног система за управљање флексибилном вишепрстном хваталком проистекао је из потребе, да се хваталком управља на начин као што човек управља својом шаком. Пошто нису познати сви механизми који одређују како се људска шака приближава предмету, и начин на који се хвата предмет, помоћ је потражена у хеуристици. На основу осматрања, уочено је да су чиниоци од значајана основу којих човек управља приликом приближавања предмету и одређује начин хватања:

- величина предмета,
- геометријски примитив предмета и
- положај шаке према предмету хватања.

Најважнији чиниоц је величина предмета. Ако је предмет већи него што шака може да ухвати, остали чиниоци се не разматрају. Следећи чиниоц је геометријски примитив предмета, односно облик предмета,

који одређује врсту хвата. Трећи чиниоц је почетни положај шаке према предмету хватања. На основу овог чиниоца се одређује путања приближавања шаке ка предмету.

Као што је поменуто, флексибилна вишепрстна хватаљка је искоришћена као терминални орган робота у монтажи арматуре за грејаче. У недостатку визије, предмети хватања су постављени на палету са дефинисаним позицијама. Тиме се задатак експертног система у великој мери поједностављује, јер није потребно одређивати позицију предмета. Непознате величине су димензије предмета хватања (монтирају се предмети који су слични по облику а различити по димензијама). Након што се унесу димензије предмета експертни систем на основу унетих правила, одређује који ће се хват користити, срачунава улазне податке за управљачки програм, покреће га, и он преко локалног контролера остварује хватање. Основни недостатак овако конципираног радног места је што предмети рада морају бити поређани на палете пре процеса монтаже. Због тога се предвиђа увођење система визије, који ће омогућити да предмети рада могу бити слободно постављени, било на покретним тракама било на неком одређеном простору. Правила која се тренутно користе имају следећи облик:

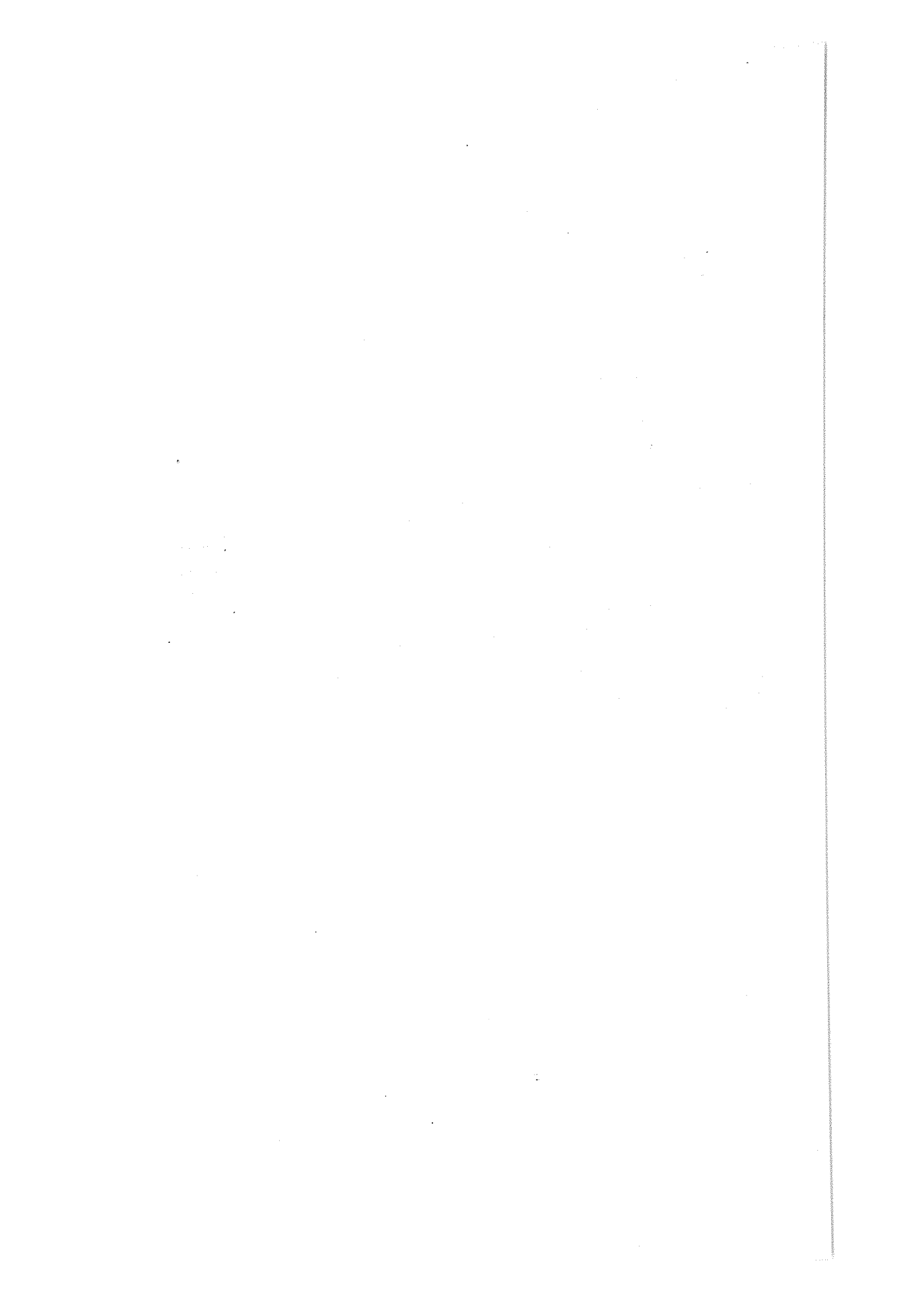
правило1 : ако  
геометријски примитив цилиндар И  
пречник цилиндра у мм < 45 И  
могуће хватање без ограничења

онда  
уради :: припреми (захват5), изврши (шака).

Првим условом се на основу облика предмета одређује врста хвата. У другом услову тражи се пречник цилиндра ради одређивања ширине хвата. Трећи услов одређује да ли се приликом хватања предмета могу користити последња два прста, или они треба да буду савијени током хватања. Као закључак добијају се две акције које треба спровести. Прва је рачунање улазних података за захват5 (на основу пречника цилиндра), а друга је извршење програма ШАКА, који ће на основу улазних података за захват5 реализовати хватање предмета.

##### 5. ЗАКЉУЧАК

Реализован је експертни систем за управљање флексибилном вишепрстном хватаљком. Експертни систем састоји се из базе знања, механизма закључивања и спреге са корисником. База знања је организована у виду продукционих правила, која су реализована на



**CAD - PROGRAMSKI PAKET ZA AUTOMATIZIRANO  
PROJEKTIRANJE ALATA ZA PROSJEKANJE**

P. Leš, I. Potrč, S. Plazar\*

**1. UVOD**

Produktivnost povećavamo racionalizacijom i automatizacijom rada. U tom smislu odlučili smo na mariborskom Tehničkom fakultetu izraditi programski paket za automatizirano konstruiranje alata za obradu deformiranjem.

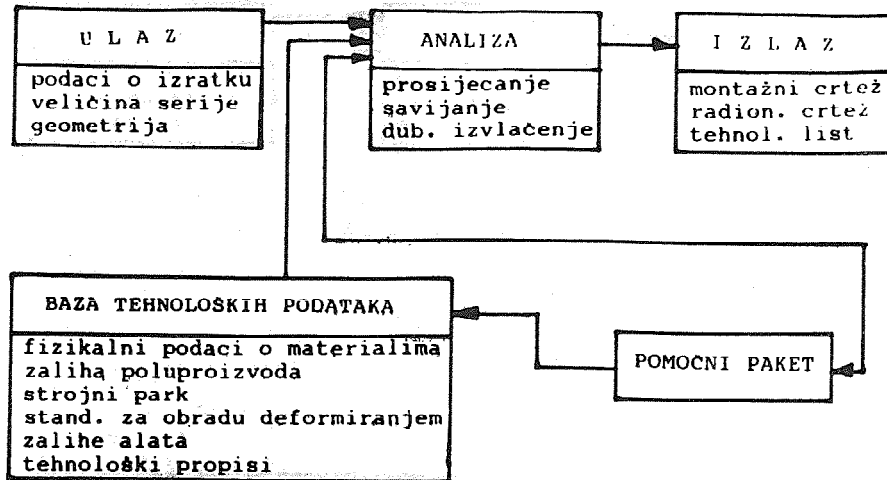
Programski je građen u modularnom obliku, tako da konstrukciju alata generiramo i provjeravamo po fazama a pojedine module jednostavno mijenjamo i dograđujemo. Rad sa paketom je zasnovan na interaktivnom pristupu tako da korisnik ne treba nikakve dodatne dokumentacije već samo odgovara na postavljena pitanja. Upotreba paketa je jednostavna za stručnjake iz područja tehnologije deformiranja i ne zahtijeva predznanje o računalima. Unos podataka je ograničen na najosnovnije informacije i to uglavnom tehnološke i konstrukcijske podatke o izratku, a ostale podatke računalo izabire samo iz baze podataka.

**2. GRADA MODELA**

Na slici 1 je prikazana shema modela za automatizirano konstruiranje alata za deformiranje. Informacije teku od ULAZA, TEHNOLOŠKE BANKE PODATAKA, POMOĆNOG PAKETA ka ANALIZI, a odatle na IZLAZ i nazad u TEHNOLOŠKU BANKU PODATAKA.

---

\* prof. dr. Peter Leš, dipl.ing.,  
doc. dr. Iztok Potrč, dipl.ing.,  
Stanislav Plazar, dipl.ing.,  
Tehniška fakulteta Maribor, Smetanova 17, 62000 Maribor

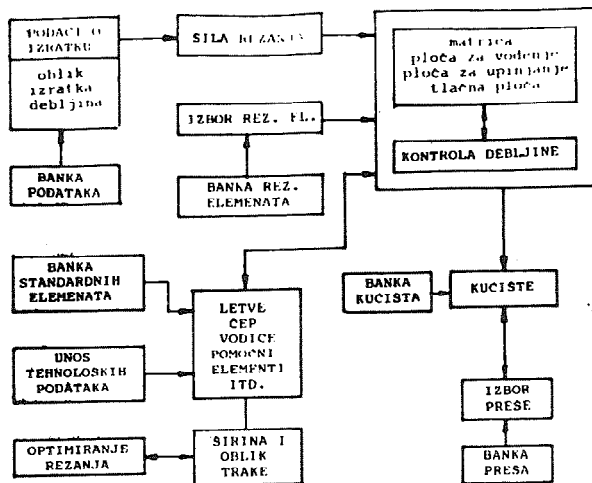


Sl. 1: Model za automatizirano konstruiranje alata za rezanje

Globalna struktura modela nam daje jasniju sliku o toku informacija i povezanosti pojedinih modula (slika 2). Iz te vidimo da jezgru modela predstavlja tehnološka banka podataka (bez koje nije moguće zamisliti djelovanje paketa) koja je povezana sa ostalim paketima:

- za izbor i proračun sastavnih dijelova alata za prosijecanje - STANCA,
- za automatsko definiranje geometrije,
- za interaktivni grafični unos oblika izratka,
- za optimiranje iskorištenja materijala i
- za crtanje montažnog i radioničkih crteža.





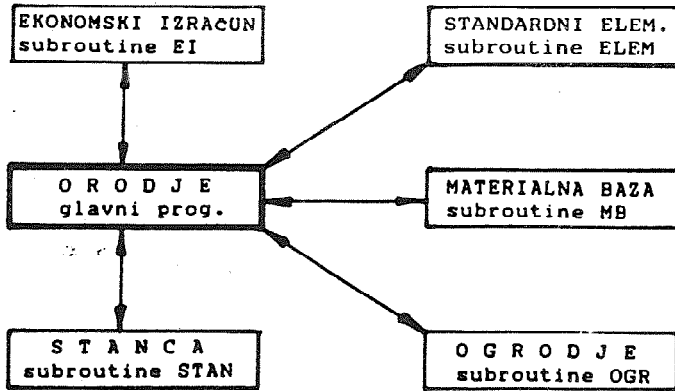
Sl. 3: Faze analize - proračuna

Na osnovu podataka o izratku izračuna računalo silu pro-sijecanja i dimenzionira maticu kao i ostale funkcionalne ele-mente. Ti podaci su među ostalim (broj izradaka, trajnost alata, točnost, dostupnost, podaci o strojevima i slično) odlučujući za izbor kućišta alata kao i optimalne širine trake ulaznog ma-terijala i broja jednakih rezova, odnosno noževa koji će rezati u jednom gibu stroja.

### 3. PROGRAMSKI MODULI

#### 3.1. Glavni program ORODJE

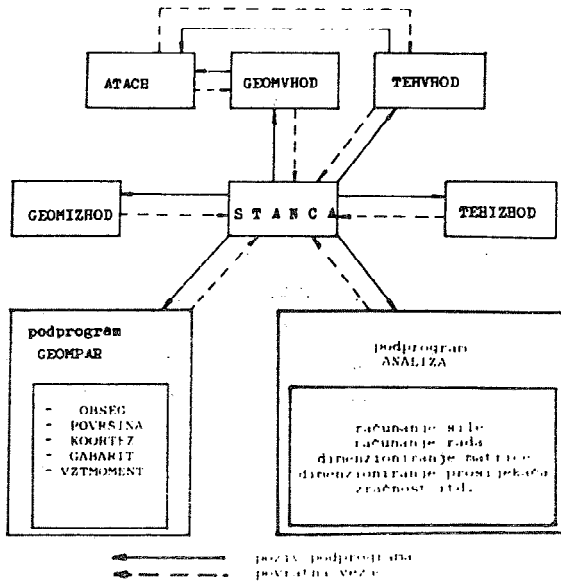
Glavni program je sastavljen tako da poziva odgovarajuće podprograme i na taj način izabire odnosno odlučuje o konkretnim programskim aktivnostima. Strukturu glavnog programa prikazuje slika 4. Iz nje vidimo, da je taj povezan sa podprogramom STANCA, podprogramom ORODJE, podprogramom MATERIALNA BAZA, podprogramom EKONOMSKI IZRACUN i podprogramom STANDARNI ELEMENTI.



Sl. 4: Glavni program ORODJE

### 3.2. Podprogram STANCA

Namijenjen je analitičnom proračunu alata. Struktura podprograma prikazana je na slici 5.



Sl. 5: Struktura podprograma STANCA



Podprogram TEHVHOD namijenjen je unosu tehnoloških podataka o izratku, veličine serije itd. Podprogram GEOMVHOD namijenjen je unosu geometrijskih podataka o izratku. Svi podaci se unose preko posebnog programskog paketa MASKA. Podprogram GEOMPAR namijenjen je za računanje dimenzij, opsega, površine, momenta inercije i koordinata težišta izratka. Izračunate vrijednosti izpišu se u podprogram GEOMIZHOD. Podprogram analiza je namijenjen računanju teoretske i stvarne sile rezanja, utrošenog rada te svih potrebnih dimenzija matrice i noža. Izračunate vrijednosti se ispišu u podprogramu TEHIZHOD.

### **3.3. Podprogram OGRODJE**

Obrađuje problematiku izbora kućišta alata. Namijenjen je dodavanju novih podataka o kućištu u datoteku odnosno širenju baze kućišta, popravljajući starih ili pogrešno unešenih podataka o kućištu alata u datoteci, izabiranje kućišta alata obzirom na broj i razmještaj elemenata za vođenje alata te ispis podataka o izabranom kućištu alata.

### **3.4. Podprogram MATERIALNA BAZA**

Ovaj podprogram je namijenjen za ažuriranje materijalnih podataka. Sastavljen je iz triju podprograma pomoću kojih dodajemo, popravljamo i ispisujemo sve podatke o materijalu. Program kreira dve datoteke. U materijalnu datoteku zapisuje mehanička, tehnološka i kemijska svojstva materijala a u usporednoj datoteci pohrani porijeklo, firmu i naziv materijala na osnovu kojih ga je lakše naći. Programske aktivnosti izabiremo na osnovu ponuđenih mogućnosti (menu).

### **3.5. Podprogram STANDARDNI ELEMENTI**

Pomoću njega izabiremo standardne elemente iz baze podataka kao npr. elemente za vođenje, čepove za upinjanje, prirubnice,

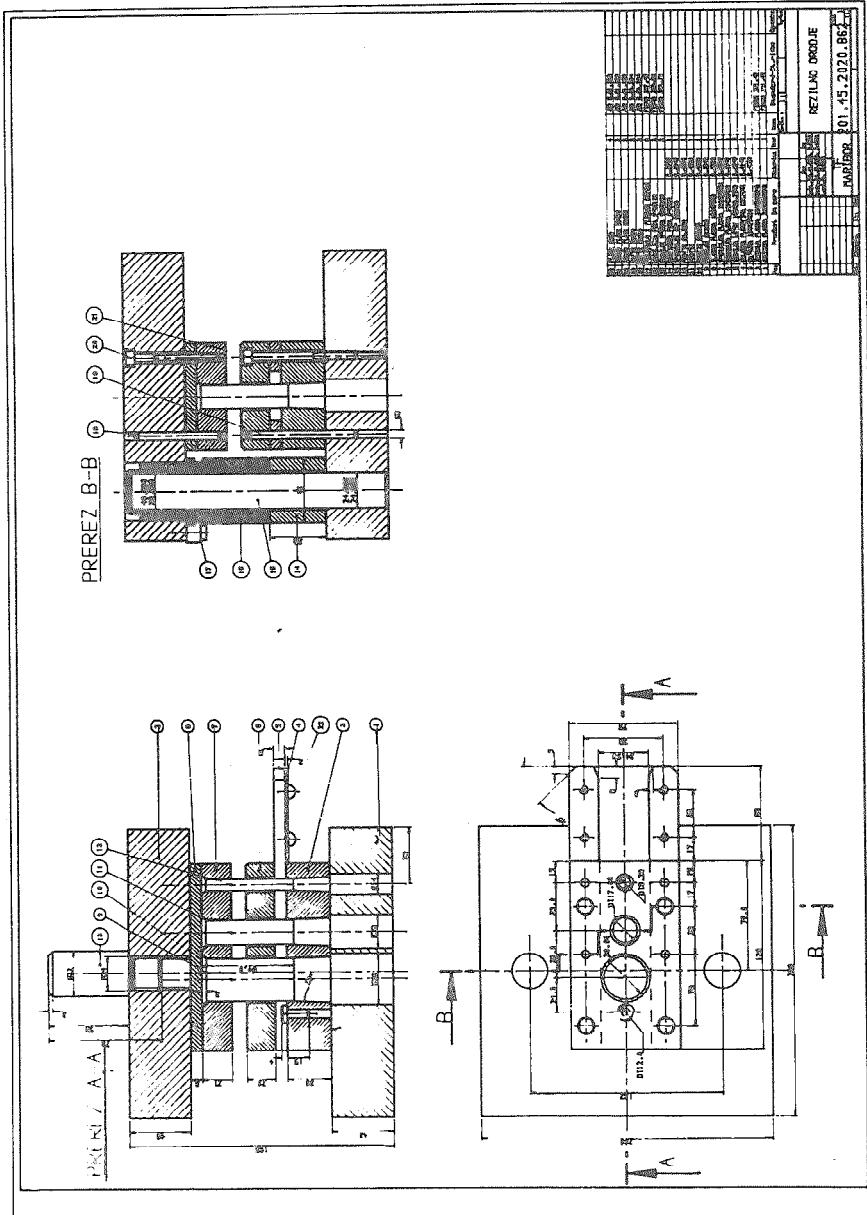
rezné elemente, elemente za prenos alata, elemente za skladištenje alata i druge. Elemente izabiremo na osnovu klasifikacijske šifre koju nam posreduje samo računalo. Koristeći se standardnim elementima modularno izgrađujemo odgovarajući alat.

### 3.6. Podprogram EKONOMSKI IZRACUN

U ovom podprogramu računamo troškove proizvodnje, na osnovu kojih u podprogramu GRAF crtamo krivulju ekonomičnosti. Krivulja ekonomičnosti predstavlja osnovni kriterij za izbor broja redova prosijecanja.

### 3.7. Program za crtanje

Alat za prosijecanje konstruiramo pomoću grafičnog paketa DIAD, koji omogućuje dvodimenzionalno crtanje, dozvoljava upotrebu različitih linija i boja, omogućuje šrafiranje prerezanih dijelova, kotiranje i ispis pozicija. Alat crtamo pomoću makroprograma. Ti se upotrebljavaju za crtanje ponavljajućih djelova crteža i to tako da se samo mijenjaju odgovarajući parametri. Glavna prednost tog načina konstruiranja odnosno crtanja se sastoji u tome da cjelokupno crtanje teče pomoću varijabli koje unosimo u makroelement. Na osnovu unešenih podataka i makroelementa računalo samo kreira crtež. Želimo li promijeniti neku dimenziju na crtežu promijenimo samo odgovarajuću varijablu, ponovimo crtanje i dobimo novi crtež. Montažni crtež alata urađen upotrebom pomenutog programskog paketa prikazuje slika 6.



S1. 6: Montažni crtež alata

Sve podatke potrebne za crtanje dobivamo iz analitičnog proračuna i baze podataka.

#### 4. ZAKLJUČAK

Upotreba računala pri konstruiranju alata za prosijecanje omogućuje automatizaciju i racionalizaciju tog procesa. Pomoću programa ORODJE moguće je u cijelini proračunati vitalne dijelove alata i odrediti njihove dimenzije te tako konstruktora osloboditi dugotrajnog i mukotrpnog računanja. Grafički paket DIAD omogućuje upotrebom makroprograma jednostavno i brzo crtanje alata za prosijecanje.

#### LITERATURA

1. J. Čep: Maska - navodila za uporabo paketa za pomoć pri vnosu podatkov, Maribor 1986.
2. G. Hren: DIAD 2D - risanje, Vadnica, LATES, Maribor, junij 1986.
3. P. Leš: Navodilo za konstruiranje preoblikovalnih orodij, Maribor 1987.

P. Leš, I. Potrč, S. Plazar

CAD - PROGRAMSKI PAKET ZA AUTOMATIZIRANO  
PROJEKTIRANJE ALATA ZA PROSJEKANJE

R e z i m e

Programski paket je namijenjen za automatizirano konstruiranje alata za prosjecanje od osnutka do tehnološke i konstrukcijske dokumentacije. Nakon unosa geometrijskih i tehnoloških podataka slijedi automatizirano izračunavanje tehnoloških i konstrukcijskih veličina. Iz postojeće baze podataka izabere računalo odgovarajuće materijale, standardna kućišta alata i pojedine standardne elemente. Te veličine prenesemo u grafički paket DIAD i koristeći odgovarajući program crtamo montažni crtež alata. Program teče na grafičkom terminalu Tektronix i računalu VAX, a razvijen je na Tehničkom fakultetu Maribor.

CAD - PROGRAM PACKET FOR AUTOMATIC  
CONSTRUCTION OF CUTTING TOOLS

S u m m a r y

The program is made for automatic construction of cutting tools from the beginning to the technological and construction documentation. After the input of the geometric and construction data, automatic calculation of technological and construction parameters should be carried out. From the existing data base the computer selects suitable materials, standard tool frames and individual standard unites. Data for the parameters are transferred to the graphic packet DIAD where, with our program's help a structure of the tool is drawn. The program was developed at the Tehniška fakulteta and carried on the graphic terminal Tektronix and the computer system VAX.

ОБРАДА LISTA LOPATICE PRIMJENOM  
VIŠEOSNOG SIMULTANOG GLODANJA

R. Cebalo, D. Ruškarić

1. UVOD

=====

Donedavno je kopirno glodanje osim elektroeroziona i elektrokemijske obrade bilo jedini postupak obrade složenih profila kao što je list turbinske lopatice. Kod kopirnog glodanja informacije su dobivene sa modela i direktno preko kopirnog sustava prenošene na izvršne organe stroja, pri čemu je moguće upravljanje sa 2, 2 1/2 i najviše 3 osi. Kao alat upotrebljavalo se konačno prstasto glodalo sa kuglastim vrhom ili pločasto glodalo što takodjer može utjecati na tačnost profila.

Moderna CNC tehnika upravljanja alatnim strojevima i upotreba integriranih CAD/CAM sustava bitno mijenja dosadašnji način izrade složenih oblika. Svakako da elektroeroziona i elektrokemijska obrada složenih profila ostaju i dalje zadovoljavajuće metode obrade u pojedinim područjima i kod povećane čvrstoće lopatice iznad 1300 N/mm<sup>2</sup> ali u ova obadva slučaja proizvodnja tačnih elektroda ostaje problem koji se uspješno rješava korištenjem moderne CNC tehnike i CAD/CAM sustava.

-----  
\*/ dr. prof. Roko Cebalo, dipl. ing. - FAKULTET STROJARSTVA I  
BRODOGRADNJE Sveučilišta u Zagrebu, Dj. Salaja 5, 41000 Zagreb

Dragomir Puškarić, dipl. ing. - SOUR JUGOTURBINA - INSTITUT,  
M. Švarča 155, 47000 Karlovac

Obrada oblika profila lista lopatica na CNC višeosno upravljanoj glodalici postaje ekonomična i kod malih serija jer otpada izrada skupog modela. Višeosno upravljanje omogućava obradu kosih i zaobljenih krajeva lista te korištenje različitih alata sa ciljem postizanja najpovoljnijeg načina glodanja obzirom na dodatke za obradu i sa ciljem optimalnog vremena obrade i hrapavosti obradjene površine.

## 2. GEOMETRIJSKI OPIS LISTA LOPATICE

Aerodinamički oblik statorskih i rotorskih lopatica parne turbine omogućava ekspanziju pare, strujanje parnog mlaza između lopatica i pretvaranje kinetičke energije u mehanički rad vrtnje turbinskog rotora. Oblici lista lopatica određuju se na osnovu zakona čvrstće, termodinamičkih i plinodinamičkih zakona i eksperimenata.

Metoda	Graf	Matematički prikaz	Vrijednosna funkcija
Prikaz s polinomima INABA		$Z(x,y) = \sum_{i,j} A_{ij} x^i y^j$ $0 \leq  x  \leq 1, 0 \leq  y  \leq 1$	$A_{ij}$
LAGRANGE		$Q(u,v) = U^T P V$	$U = [L, m(u)]$ $V = [L, n(v)]$
Kubno približenje		$Q(u,v) = U^T P \cdot V$ $(P_{ij}) = p$	$U = [H, 3(u)]$ $V = [H, 3(v)]$
COONS		$Q(u,v) = U \cdot N \cdot P \cdot N^T \cdot W^T$	$U N = [F_{0u} F_{1u} G_{0u} G_{1u}]$ $W N = [F_{0w} F_{1w} G_{0w} G_{1w}]$

Slika 1. Metode prikaza složenih površina

List lopatice u uzdužnom smjeru može biti ravan ili uvijen. Oblik lista lopatice definiran je većim brojem presjeka lista za uvijene lopatice ili jednim presjekom lista za ravne lopatice. Pojedini presjek lista može biti definiran kružnim lukovima ili većim brojem točaka. U jednom i drugom slučaju potrebno je za programiranje obrade lista lopatice definirati površine koje opisuju sam list lopatice. Mogu se koristiti različite metode opisa površine ( prikaz površine polinomoima, Lagrangeov prikaz, Coonsov prikaz, i B-spline prikaz). Osnovne karakteristike tih metoda prikazane su na slici 1. Najčešće metode koje se koriste u integriranom CAD/CAM sustavu su Coonsov prikaz i B-spline prikaz.

### 3. PROGRAMIRANJE VIŠEOSNE SIMULTANE OBRADE

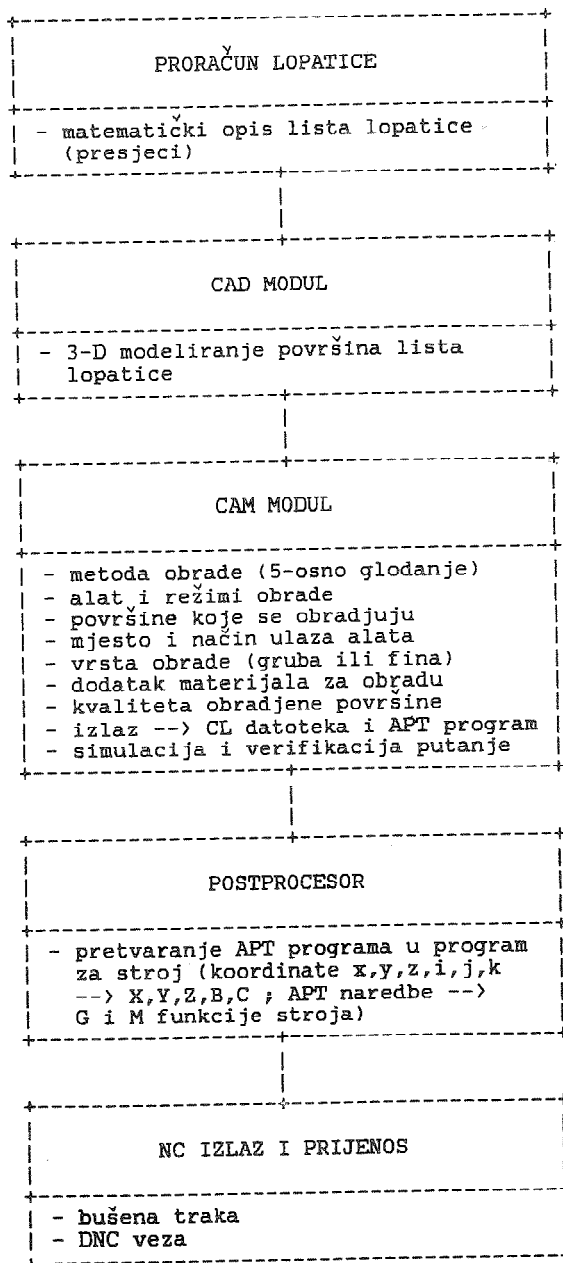
=====

Za obradu lista lopatice na CNC upravljanom višeosnom obradnom stroju potrebno je izraditi izvedbeni program. Radi 5-osne simultane obrade mora se koristiti CAD/CAM sustav za izradu programa. Tehnologija izrade programa za 5-osnu obradu na integriranom CAD/CAM sustavu SKIP 2001 prikazana je shematski na slici 2.

Iz presjeka lista definiranih pomoću točaka ili kružnih lukova modelira se list lopatice na CAD/CAM sistemu. Površine lista prikazuju se Coonsovim površinama ili B-površinama. Tako dobiveni model može se koristiti u CAM procesoru za generiranje putanje alata za 5-osnu simultanu obradu.

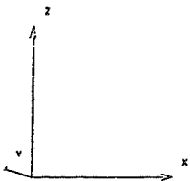
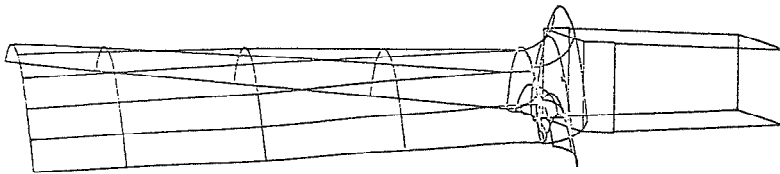
U CAM procesoru programer u obliku dijaloga mora odrediti potrebne parametre za generiranje putanje alata i izradu programa. Najprije definira geometrijski oblik alata i režime obrade ili izabire definirani alat sa režimima obrade iz datoteke alata. Mogu se koristiti različiti tipovi glodala (vretenasta glodala cilindrična





SLIKA 2. SHEMATSKI PRIKAZ IZRADE PROGRAMA

ili konična sa kuglastim reznim vrhom, vretenasta cilindrična glodala sa čeonim i obodnim oštrocama te glodaće glave) čime je omogućeno optimalno korištenje pojedinih vrsta glodala i njihovih oštirca obzirom na oblik obradjene površine, te značajno skraćenje vremena obrade. Zatim bira površine dijela koje se obradjuju, određuje način ulaza alata u materijal (ravno, koso, cirkularno) i mjesto ulaza u materijal. Nakon toga određuje vrstu obrade (gruba ili fina obrada), dodatak materijala po stranici do konačne mjere i hrapavost obradjene površine.



```

1  PARTNO/TEMP-A
2  MULTAX -
3  TOOLNO/1.00,16.00,32.00,0.00
4  COOLNT/ON
5  AIR/ON
6  SPINDL/200.00,CLW
7  FROM/-50.00,-50.00,150.00,0.00,0.00,1.00
8  FEDRAT/2540.00
9  GOTO/-50.00,-50.00,150.00,0.00,0.00,1.00
9  GOTO/-0.09,69.58,150.00,-1.00,0.08,0.04
9  GOTO/-0.09,69.58,75.00,-1.00,0.08,0.04
10 AIR/OFF
11 FEDRAT/10.00
12 GOTO/-0.09,69.58,-7.92,-1.00,0.08,0.04
12 GOTO/-0.08,68.02,-5.34,-1.00,0.08,0.04
12 GOTO/-0.08,66.83,-3.42,-1.00,0.08,0.04
12 GOTO/-0.08,65.91,-1.99,-1.00,0.08,0.05
12 GOTO/-0.08,64.97,-0.58,-1.00,0.07,0.05
12 GOTO/-0.08,63.75,1.19,-1.00,0.07,0.05
12 GOTO/-0.08,62.49,2.95,-1.00,0.07,0.05

```

Slika 3. 3-D model lista lopatice sa dijelom APT programa

Sistem automatski u svakoj točki putanja izračunava normalu na točku i to je ujedno smjer vektora osi alata. Sistem računa i slučajeve gdje bi moglo doći do podrezivanja materijala radi promjera alata (konkavni dijelovi putanje) i prema tome kontrolira i mijenja smjer vektora osi alata i položaj središta alata. Izlaz iz CAM procesora je datoteka položaja središta alata (CL file) u obliku  $x, y, z$  koordinata središta alata i  $i, j, k$  komponenti vektora osi alata i APT program sa osnovnim funkcijama (MULTAX, FEDRAT, SPINDL). Korisnik može taj APT izvorni program nadopuniti svim ostalim potrebnim funkcijama (rashladno sredstvo, pomak nul tocke, korekcije alata i dr.) i tako napraviti kompletan APT program za obradu dijela. Na sistemu se može izvršiti dinamička simulacija putanje alata i kontrola obrade i mogućnosti pojava kolizije alata i obratka. 3-D model lista lopatice sa dijelom APT programa prikazan je na slici 3.

U postprocesoru je potrebno taj APT program pretvoriti u izvedbeni program za stroj. Pri tome se koordinate vrha alata i vektori osi alata pretvaraju u koordinate gibanja stroja i to tri linearne osi ( $X, Y, Z$ ) i dvije rotacione osi ( $A, B$ ) a ostale naredbe u pomoćne i glavne funkcije stroja ( $G$  i  $M$  funkcije). Takav program može se preko bušene trake ili DNC vezom prenesti u upravljačku jedinicu stroja.

#### 4. ZAKLJUČAK

=====

5-osna simultana obrada za izradu složenih površina predstavlja vrlo složenu tehnologiju obrade posebno sa stajališta upravljanja strojem (tri linearne i dvije rotacione simultane osi). Za izradu programa za upravljanje strojem potrebno je

koristiti integrirani CAD/CAM sustav (npr. SKIP 2001) ili specijalni softver pomoću kojega se može modelirati složeni profil i generirati putanja alata. Ta metoda obrade omogućuje izradu u visokim granicama točnosti i najsloženijih oblika koji se klasičnim metodama ne mogu izraditi. Efikasno korištenje te tehnologije zahtjeva dobro školovane kadrove i kvalitetnu softversku i hardversku opremu.

## 5. LITERATURA

=====

- [1] CEBALO R., PUŠKARIĆ D., "CAD/CAM sustav u proizvodnji parnih turbina", 2. jugoslavenski simpozij CAD/CAM, Cavtat 1989
- [2] ..., "SKIP 2001 - Priručnik za korisnika", Jugoturbina-Institut, Karlovac 1988
- [3] CHOI B.K., LEE C.S., HWANG J.S., JUNG C.S., "Compound surface modeling and machining", Computer Aided Design 3(1988), 127-136
- [4] HRISTOV V., CETINJANIN Z., "Upotreba CAD/CAM sistema za dizajniranje modela", Strojarsstvo 29(1987)6, 295-300
- [5] SANZENBACHER M., "NC-gerechte Beschreibung von Werkstücken mit gekrümmten Flächen, Springer-Verlag 1982, München

CEBALO R., PUŠKARIĆ D.

### MACHINING TURBINE BLADE VANE BY MULTYAXIS MILLING

#### S u m m a r y

-----

Compound surfaces, as turbine blade vane are effeciently machined by 5-axis milling. Modelling of blade vane and generating of 5-axis machining is performed by integrated CAD/CAD system SKIP 2001.



R. Cebalo, D. Sišćan\*

NUMERIČKI UPRAVLJANO DUBOKO BRUŠENJE

NEOKRUGLIH POVRŠINA

1. UVOD

Neki domaći proizvođači motora s unutrašnjim sagorijevanjem nisu razvili proračun za određivanje geometrije bregova nego iste izrađuju prema podacima davaoca licence. Do sada je izrada ovih strojnih elemenata vršena kopiranjem, a šablona je izrađivana prema ručno nacrtanom crtežu. Ovakav postupak je u slučaju malih serija (što je tipično za velike motore) niskoproduktivan, što utiče na visoku cijenu kako bregastih osovina, tako i cijelog motora. Stoga se nameće ideja da se izrada ovih elemenata automatizira s ciljem povećanja produktivnosti i u vezi s tim i smanjenja troškova proizvodnje. Uvođenjem tehnologije dubokog brušenja smanjuju se investicioni troškovi jer se i gruba i završna (fina) obrada mogu vršiti na istom obradnom stroju (CNC-brusilici). Zbog ovih prednosti potrebno je razviti algoritam upravljanja numerički upravljivih brusilica. Potrebne teoretske osnove dane su ovim člankom. Geometrija brijega je zadana tabličnom funkcijom putanje kopirnog kotačića  $r_k = f(a_k)$ , a na isti način je zadan oblik neobrađenog brijega  $r_{oa} = f_1(a_{oa})$ . Na osnovu toga i promjera brusa ( $D_b$ ) potrebno je odrediti promjenu duljine luka zahvata brusa ( $l_k$ ) tokom brušenja neokrugle obradne površine te ostvariti konstantnu ekvivalentnu debljinu brušenja ( $h_e$ ). Ovo ujednačuje trošenje brusa i kvalitetu brušene površine, a osim toga omogućava najveći mogući učin brušenja.

---

\*/ prof. dr Roko Cebalo, dipl.ing., redovni profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, D. Salaja 5

Darko Sišćan, dipl.ing., istraživač-suradnik Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, D. Salaja 5

## 2. TEORETSKE OSNOVE

Osim zadovoljenja kvalitete obrađene površine potrebno je osigurati i točnost oblika i dimenzija gotovog brijega. Kao osnovni zahtjevi ovdje se postavljaju prvo točnost dimenzija i drugo glatkoća krivulje brijega. Prvi zahtjev je više vezan uz točnost samog obradnog stroja, što nije predmet razmatranja ovog članka. Kod drugog zahtjeva postavlja se problem definiranja pojma "glatkoća". Sam po sebi nameće se prvi uvjet glatkoće, a to je konstantnost prve derivacije funkcije, odnosno konstantnost nagiba funkcije u točkama spajanja interpolacionih polinoma. Indukcijom se može doći i do drugog uvjeta glatkoće, a to je konstantnost drugih derivacija u spomenutim točkama spajanja:

$$\text{prvi uvjet glatkoće: } \{dr/dx\}_{x_i} = \{dr/dx\}_{x_{i-1}}$$

$$\text{drugi uvjet glatkoće: } \{d^2r/dx^2\}_{x_i} = \{d^2r/dx^2\}_{x_{i-1}}$$

Drugi uvjet je zapravo uvjet o jednakosti polumjera zakrivljenosti.

Poznato je da je na početku i na kraju ( $x=0$  i  $2N$  respektivno) funkcija zapravo konstanta (jedan dio brijega je krug), što uzrokuje dva dodatna početna uvjeta, a to su da je druga derivacija funkcije  $r_k=f(x_k)$  jednaka nuli za  $x=0$  i  $x=2N$ . Ovime je definirana aproksimativna funkcija koja je u matematičkoj analizi poznata pod nazivom "prirodni spline". Prema [4] može se u odnosu na zadane početne uvjete pisati slijedeći algoritam za određivanje interpolacione funkcije:

1.  $h_i = x_{ki+1} - x_{ki}$  i=1,2,...,n-1 (1)
2.  $b_i = 6(r_{i+1} - r_i)/h_i$  i=1,2,...,n-1 (2)
3.  $u_i = 2(h_1 + h_2)$  (3)
4.  $u_i = 2(h_i + h_{i-1}) - h_{i-1}^2/u_{i-1}$  i=3,4,...,n-1 (4)
5.  $v_i = b_i - b_{i-1}$  (5)
6.  $v_i = b_i - b_{i-1} - h_{i-1}v_{i-1}/u_{i-1}$  i=3,4,...,n-1 (6)
7.  $z_n = 0$  (7)
8.  $z_i = (v_i - h_i z_{i+1})/u_i$  i=n-1, n-2, ..., 2 (8)

Na osnovu gornjeg algoritma izraden je slijedeći program u višem programskom jeziku FORTRAN:

```

dimension t(300),y(300)
dimension ah(300),b(300),u(300),v(300),z(300)
open(unit=1,file='sul.dat')
read(1,*)n
do 10 i=1,n
read(1,*)t(i),y(i)
10 continue
close (unit=1)
do 1 i=1,n-1
ah(i)=t(i+1)-t(i)
b(i)=6.*(y(i+1)-y(i))/ah(i)
1 continue
u(2)=2.*(ah(1)+ah(2))
v(2)=b(2)-b(1)
do 2 i=3,n-1
u(i)=2.*(ah(i)+ah(i+1))-ah(i-1)**2./u(i-1)
v(i)=b(i)-b(i-1)-ah(i-1)*v(i-1)/u(i-1)
2 continue
z(1)=0.
z(n)=0.
do 3 i=n-1,2,-1
z(i)=(v(i)-ah(i)*z(i+1))/u(i)
3 continue
open(unit=1,file='sil.dat')
write(1,101)n
101 format(1x,i3)
do 4 i=1,n
write(1,*)t(i),',',y(i),',',z(i)
4 continue
close(unit=1)
stop
end

```

Izračunate vrijednosti  $z_i$  nalaze se u datoteci SIL.DAT, a potrebni ulazni podaci upisuju se putem datoteke SUL.DAT. Uz poznate vrijednosti  $z_i$ , moguće je odrediti udaljenost kotačica  $r_k$  za proizvoljni kut  $\alpha_k$  pomoću izraza [4]:

$$\begin{aligned}
r_k = & z_{i+1} (\alpha_k - \alpha_{ki})^3 / 6 / h_i + z_i (\alpha_{ki+1} - \alpha_k)^3 / 6 / h_i + \\
& + (r_{ki+1} / h_i - z_{i+1} h_i / 6) (\alpha_k - \alpha_{ki}) + (r_{ki} / h_i - z_i h_i / 6) (\alpha_{ki+1} - \alpha_k)
\end{aligned} \quad (9)$$



gdje vrijedi  $a_{ki} \leq a_k \leq a_{ki+1}$ . Da bi se dokazala praktična primjena ovako određene interpolacione funkcije  $r_k = f(a_k)$ , razrađen je program koji određuje grešku spline-a kod ekstrapolacije:

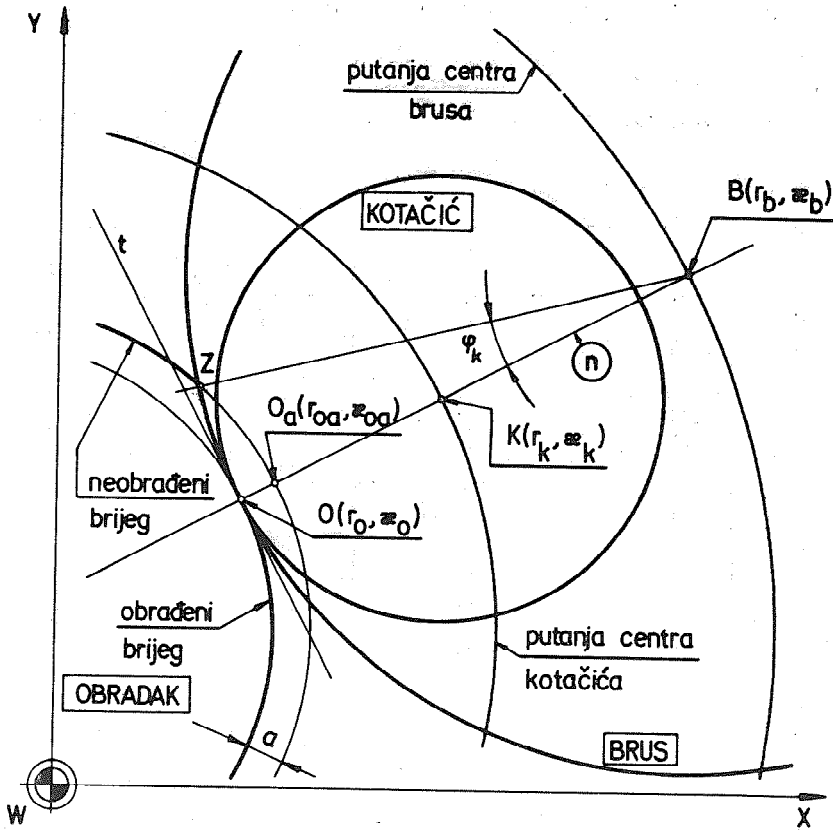
```

dimension t(300),y(300),z(300)
write(5,500)
500 format(' broj preskakanja____',8)
read(6,*)np
open (unit=1,file='sil.dat')
read(1,*)n
do 1 i=1,n
read(1,*)t(i),y(i),z(i)
1 continue
close(unit=1)
open(unit=1,file='izl.dat')
do 4 i=1,n-1-np,np+1
write(1,*)t(i),y(i)
ah=t(i+1+np)-t(i)
dx=ah/float(np+1)
do 3 j=1,np
x=t(i)+float(j)*dx
s=(z(i+1+np)*(x-t(i))**3.+z(i)*t(i+1+np)-x)**3.)/6./ah
s=s+(y(i+1+np)/ah-z(i+1+np)*ah/6.)*(x-t(i))+
s=s+(y(i)/ah-z(i)*ah/6.)*(t(i+1+np)-x)
dy=abs(y(i+j)-s)*100.
write(1,*)x,s,dy
3 continue
4 continue
write(1,*)t(n),y(n)
close(unit=1)
stop
end

```

Kod preskakanja dvije točke najveća greška ekstrapolacije prema tabeli I iznosi 0.01387 mm što je manje od tražene točnosti od 0.015 mm. Iz ovog proizlazi da ovaj spline u potpunosti zadovoljava postavljene uvjete.

Na osnovu ove poznate funkcije putanje kotačića mogu se odrediti nepoznate funkcije putanje središta brusne ploče te oblik (geometrija) obrađenog brijega.



slika 1: Prikaz osnovnih veličina potrebnih za teoretsku razradu

Pri određivanju ovih nepoznatih funkcija korištena je ideja da je pravac  $n$  (vidi sliku 1.) normala kako na obrađenu površinu brijega tako i na putanje kotačića i brusne ploče. S obzirom da je putanja kotačića zadana u polarnim koordinatama jednačba normale  $n$  može se dati pomoću izraza:

$$r_n \sin z_n - r_k \sin z_k = (r_k \tan z_k - r_k') (r_n \cos z_n - r_k \cos z_k) / (r_k + r_k' \tan z_k) \quad (10)$$

gdje vrijedi da je:

$r_n$  - veličina radijvektora neke točke na normali;

$\alpha_n$  - kut radijvektora neke točke na normali;  
 $r_k$  - radijvektor putanje kotačića;  
 $\alpha_k$  - kut radijvektora putanje kotačića i  
 $r_k'$  - vrijednost derivacije dana slijedećim izrazom:

$$r_k' = 0.5(z_{i+1}(\alpha_k - \alpha_{k1})^2 - z_i(\alpha_{k1+1} - \alpha_k)^2)/h_i + (r_{k1+1} - r_{k1})/h_i - (z_{i+1} - z_i)h_i/6 \quad (11)$$

Tabela I: Greška ekstrapolacije  $\Delta r$  u  $\mu\text{m}$ .

$\alpha_k^\circ$	$r_k$ mm	$\Delta r$ $\mu\text{m}$	$\alpha_k^\circ$	$r_k$ mm	$\Delta r$ $\mu\text{m}$
1.5	152.5		16.5	153.3990	
2.5	152.5056	5.645752	17.5	153.5157	2.899170E-01
3.5	152.5191	7.080078	18.5	153.6614	6.256104E-01
4.5	152.5510		19.5	153.8440	
5.5	152.6001	13.87024 max.	20.5	154.0686	1.388550
6.5	152.6687	11.27625	21.5	154.3435	1.495361
7.5	152.7470		22.5	154.6740	
8.5	152.8136	3.662109E-01	23.5	155.0618	1.251221
9.5	152.8802	2.441406E-01	24.5	155.5119	2.090454
10.5	152.9470		25.5	156.0260	
11.5	153.0141	7.629395E-02	26.5	156.6004	5.645752E-01
12.5	153.0814	1.419067	27.5	157.2359	9.002686E-01
13.5	153.1490		28.5	157.9280	
14.5	153.2229	1.892090	29.5	158.6773	2.319336
15.5	153.3039	9.307861E-01	30.5	159.4752	1.220703

Isto tako je sa slike 1. vidljivo da je udaljenost centra kotačića  $\delta$  od neke točke na normali jednaka:

$$\delta = \sqrt{(r_k \cos \alpha_k - r_n \cos \alpha_n)^2 + (r_k \sin \alpha_k - r_n \sin \alpha_n)^2} \quad (12)$$

Na osnovi izraza (9), (10), (11) i (12) moguće je odrediti nepoznatu funkciju putanje brusa te geometriju obradenog brijega. Korištenjem računala mogu se na ovaj način "preslikati" točke putanje središta kotačića, a zatim funkcije opet aproksimirati spline-om. Zbog dvoznačnosti rješenja, a uzimajući u obzir moguću konkavnost brijega, potrebno je definirati početne vrijednosti nepoznatih funkcija, pa zatim rješenje tražiti u okolici

prethodne točke. Na temelju poznatih funkcija putanje brusa i geometrije brijega moguće je odrediti kut zahvata zakreta  $\varphi_k$  kao sjecište dviju poznatih funkcija. I ovdje je rješenje dvoznačno, pa treba pravilno odabrati. Poznavajući kut zahvata kontakta jednostavno se određuje duljina luka zahvata prema izrazu:

$$l_k = D_b \varphi_k / 2 \quad (13)$$

Prema [1] ekvivalentna debljina brušenja određuje se po izrazu:

$$h_e = Q_{br} / v_b \quad (14)$$

Reducirani učin brušenja  $Q_{br}$  je stvarni učin brušenja sveden na jedan milimetar širine brusnog kontakta.

Za kružno brušenje vrijedi da je:

$$Q_b = \pi D_{op} n_o b_k a \quad (15)$$

pa je prema (14), (15), i  $v = \pi D n$  ekvivalentna debljina brušenja jednaka:

$$h_e = D_{op} n_o a / (D_b n_b) \quad (16)$$

Uzimajući konstantnu frekvenciju vrtnje brusa  $n_b$  dobiva se:

$$n_o = h_e D_b n_b / (D_{op} a) \quad (17)$$

Prosječni promjer obratka  $D_{op}$  dobiva se prema izrazu:

$$D_{opi} = (r_{oi} + r_{oai} + r_{oi+1} + r_{oai+1}) / 2 \quad (18)$$

pa je time određena i funkcija  $h_e = g(x_o)$ , a na osnovu iste je potrebno vršiti upravljanje C-osi numerički upravljive brusilice. Kao osnovnu postavku pri razradi programa za upravljanje može se postaviti odnos:

$$n_o = C dx_o / dT \quad (19)$$

Pomoću tako određene funkcije  $n_o(T, x_o)$  može se doći do odgovarajućeg programa.

## 3. ZAKLJUČAK

Primjena kubne funkcije (9) za interpolacioni polinom kod izravnavanja i određivanja vrijednosti koje opisuju krivulju brijega pokazalo se potpuno zadovoljavajućim što pokazuje tabela I jer je maksimalno odstupanje stvarnih i teoretskih vrijednosti manje od dozvoljenog čak i uz namjerno nametnute nepovoljne uslove. Analizom rada brusa i brijega u brusnom kontaktu te upravljanje tim procesom tako da ekvivalentna debljina brušenja bude približno konstantna omogućava se maksimalni mogući učin kod dubokog brušenja i ujednačena kvaliteta obrađene površine u završnom brušenju.

LITERATURA

- [1] Cebalo R.: Moderna tehnika brušenja, RO SAS Zadar, Zadar, 1987
- [2] Cebalo R.: Duboko brušenje, (u tisku)
- [3] Cebalo R.: Optimalno brušenje u puno vatrootpornih Ni-legura za plinske turbine, doktorska disertacija, FSE Zagreb, 1985
- [4] Cheney W., Kincaid D.: Numerical Mathematics and computing, Brooks/Cole Publishing Company, Monterey, California, 1980.
- [5] Cebalo R.: Optimization of the creep-feed grinding process, Int.J.Prod.Res., 1988, Vol. 26, No. 10, 1665-1670
- [6] Kličprea U.: Camshafts CNC Ground, Metallbearbeitung, Example 12/87

R. Cebalo, D. Sišćan

NUMERICAL CONTROLLED EXCENTRIC CREEP-FEED GRINDING

## S u m m a r y

Machining cam forms is a problem which is till now solved with help of copying systems. Because of higher productivity and accuracy, new technology anticipates rough machining of excentric surfaces on CNC milling machine and surface finishing on CNC grinding machine. But it is known that acquisition of two machines rises production costs for small number of pieces. In this paper it is proposed the possibility of both rough machining and surface finishing on one CNC grinding machine. For rough machining the creep-feed grinding with maximum reduced material removal rate is used to obtain maximum productivity.

This paper shows the aplicable software developing method which is necessary for controlling the CNC creep-feed grinder.

R. Cebalo, M. Mihelić, S. Prahović \*

ТОЧНОСТ ПОЗИЦИОНИРАЊА NU-ОСИ  
НА АЛАТНИМ СТРОЈЕВИМА

1. UVOD

Sve masovnije uvođenje NU obradnih strojeva i fleksibilnih obradnih sistema u pogone metaloprerađivačke industrije rezultira znatnim porastom ekonomskih pokazatelja privređivanja, ali ujedno zahtjeva čvrstu i efikasnu kontrolu proizvodnog procesa obrade. Navedena oprema treba omogućiti točnu i visoko pouzdanu obradu različitih izradaka. Zbog vrlo oštih zahtjeva u pogledu točnosti i pouzdanosti rada NU-obradnih strojeva razvijene su i odgovarajuće metode za provjeru odnosno praćenje karakterističnih elemenata točnosti strojeva. NU obradni strojevi građeni su tako da posjeduju mogućnost podešavanja točnosti pozicioniranja na temelju pouzdano izmjerenih veličina odstupanja točnosti. Za slučaj linearnih NU-osi mjerenje točnosti se uspješno i brzo provodi laserskim interferometrom. Podešavanje stroja nakon izvršenog mjerenja, može se vršiti mehanički ili putem software-a.

Ovim radom nastojalo se ukazati na način i metode ispitivanja točnosti i pouzdanosti pozicioniranja duž linearnih NU-osi obradnih strojeva koje bi trebalo obavezno koristiti prilikom preuzimanja novih NU-obradnih strojeva te u toku eksploatacije istih.

---

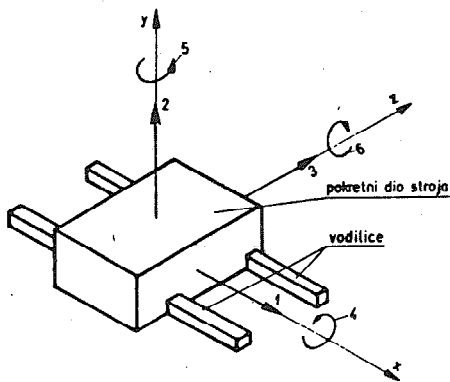
\*) prof. dr. Cebalo Roko, dipl. inž., redovni profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, ul. Đ. Salaja 5

Miroslav Mihelić, dipl. inž., Stjepan Prahović, dipl. inž., Jugoturbina - Institut Karlovac, Mala Švarča 155.

## 2. TOČNOST I POUZDANOST POZICIONIRANJA

Pod pojmom točnosti i pouzdanosti pozicioniranja podrazumjeva se razlika između stvarno zauzetog položaja pokretnog dijela stroja, duž promatrane osi, i zadane pozicije. Pored toga pod ovim pojmom podrazumjeva se i ponovljivost odnosno pouzdanost zauzimanja iste pozicije u više navrata bez obzira na smjer prilazanja istoj.

Točnost pozicioniranja *džirske* osi definirana je sa 6 podataka (6 stupnjeva slobode gibanja nekog tijela u prostoru) kao što se za slučaj gibanja po X-osi vidi na slici 1./2/



1. linearno pozicioniranje po X-osi
2. gibanje duž Y-osi
3. gibanje duž Z-osi
4. nagib
5. zaokretanje
6. prekretanje

Slika 1. Stupnjevi slobode kretanja /2/

U principu svako pozicioniranje duž neke linearne osi može imati 3 linearne i 3 tri rotacione greške. Za slučaj trokoordinatnog obradnog stroja ukupan broj mogućih grešaka je 21. Od toga je 18 grešaka uzrokovano navedenim stupnjevima slobode gibanja (6: za svaku os), a preostale tri predstavljaju greške u međusobnoj ortogonalnosti osi.

Iako na točnost pozicioniranja pored navedenih mogućih grešaka utječu i drugi faktori, već i spomenuti značajno kompliciraju opisivanje geometrijskih odnosa što jasno ukazuje na nužnost temeljitog ispitivanja točnosti pozicioniranja obradnog stroja. To je jednako važno prilikom preuzimanja kao i u toku eksploatacije stroja što se u praksi često zanemaruje.

Od ostalih faktora koji utječu na točnost pozicioniranja značajni su slijedeći : rezolucija i točnost mjernog sistema, elastične deformacije

pogonskih elemenata, inercione sile, trenje na vodilicama (stick - slip efekt) i td.

Dodatni negativni utjecaj ima kvaliteta upravljanja kod NU-strojeva.

### 3. METODE ODREĐIVANJA TOČNOSTI I POUZDANOSTI POZICIONIRANJA

Do utvrđivanja greške pozicioniranja moguće je doći na više načina i to indirektnim ili direktnim putem odnosno pri opterećenom ili neopterećenom stanju stroja. Primjenom različitih metoda ispitivanja na istom stroju, rezultati ispitivanja u pravilu ne moraju biti isti. Prema tome, od velikog je značaja upravo izbor odgovarajuće metode. Ispitivanje točnosti pozicioniranja indirektnom metodom svodi se na obradu standardiziranog test obratka ili točno definiranog radnog komada u sklopu tehnološkog ispitivanja. Utvrđivanjem odstupanja od zadanih dimenzija, te oblika položaja pojedinih ploha na obratku, indirektnim načinom moguće je ustanoviti grešku u pozicioniranju duž upravljanih osi stroja. Obzirom da je kod ovog ispitivanja stroj u opterećenom stanju, to podrazumjeva da su na rezultate utjecali dodatni faktori kao što su statičke i dinamičke sile procesa obrade i težine obratka, vibracije, razvijanje topline i sl. Pored toga na rezultate utječu i statička i dinamička krutost kao i prednaprezanje u pogonskim i vodećim sklopovima, a posebno u glavnom vretenu stroja.

Utvrđivanje greške pozicioniranja putem test obratka ima određene prednosti u slučaju ako je ispitivani stroj namjenjen samo za obradu određene pozicije. Ova metoda ne zadovoljava ukoliko se ispituju obradni centri ili fleksibilni obradni sistemi. U tom slučaju test obradak ne pruža dovoljno informacija o točnosti pozicioniranja. Slijedeći nedostatak ove metode sadržan je u tome što se ovom metodom može ustanoviti greška u pozicioniranju, ali ne i uzrok koji je doveo do te greške.

Iz tog razloga često se pristupa direktnim mjerenjima na neopterećenom stroju. U ovisnosti od raspoložive opreme primjenjuju se različiti postupci za mjerenje greške pozicioniranja direktnom metodom.

U principu se primjenjuju dva načina mjerenja točnosti pozicioniranja linearnih upravljanih osi, a to su mjerenje pomoću granične mjerke (mjernog češlja) i mjernog tastera, i mjerenje pomoću laser-interferometra.

Mjerenjem pomoću granične mjerke i mjernog tastera moguće je utvrditi grešku pozicioniranja kod NU-strojeva manjih gabarita i manjih zahtjeva po pitanju



preciznosti.

Kada su u pitanju precizni i visoko precizni obradni strojevi ili mjerni uređaji te strojevi velikih gabarita, klasična mjerna oprema ne zadovoljava već se ispitivanje točnosti i pouzdanosti pozicioniranja mora vršiti s visokopreciznim mjernim uređajem kao što je laser-interferometar.

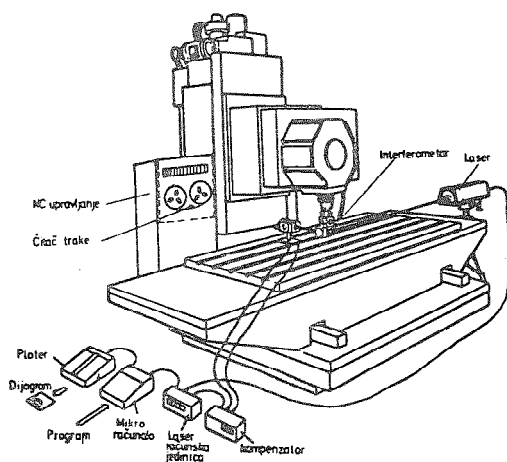
#### 4. UPOTREBA LASER-INTERFEROMETRA I POSTUPCI ISPITIVANJA

##### TOČNOSTI POZICIONIRANJA

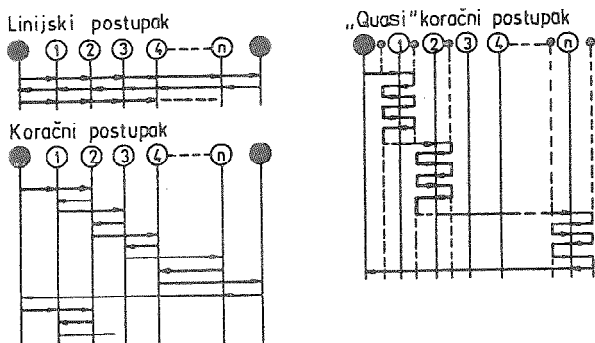
Za određivanje točnosti pozicioniranja uglavnom se koristi He-Ne laser sa linearnim interferometrom. Kao etalon za mjerenje koristi se valna dužina laserske zrake iz frekvencijski stabiliziranog lasera. To omogućuje dužinska mjerenja s točnošću boljom od  $0,5 \mu\text{m/m}$ , te mjerenje dužina do 40 metara što praktički znači da ova oprema zadovoljava i najoštrijim zahtjevima koji se postavljaju pri mjerenju točnosti pozicioniranja NU-obradnih strojeva. Pored visoke točnosti i pouzdanosti mjerenja ova oprema ima mogućnost, pomoću standardnih interfejsa, priključenja različitih perifernih jedinica. Pomoću istih vrši se automatsko memoriranje i obrada izmjerenih odstupanja te prezentacija rezultata mjerenja. Na stabilnost valne dužine laserske zrake kao i na točnost mjerenja znatno utječu temperatura, tlak, vlažnost i brzina strujanja zraka na mjestu mjerenja. Također na točnost mjerenja utječu toplinske dilatacije dijelova stroja uzrokovane promjenom temperature u toku izvođenja mjerenja. Zbog toga u sklopu dodatne opreme postoje odgovarajući senzori koji registriraju spomenute fizikalne veličine na osnovu kojih se vrši korekcija ulaznih podataka u kompenzacijskoj jedinici.

Pri ispitivanju točnosti pozicioniranja potrebno je obuhvatiti i slučajne i sistematske greške. Zbog toga se mjerenje mora vršiti u više unaprijed odabranih pozicija duž ispitivane osi stroja. Pri tome se u zadane pozicije dolazi iz oba smjera kretanja u jednom ili više navrata. Na taj način dobiveni podaci, nakon matematičko-statističke obrade, definiraju karakteristične pokazatelje točnosti i pouzdanosti pozicioniranja.

Prema načinu dolaženja u zadane mjerne pozicije razlikuju se tri postupka. To su linearni, koračni i Quasi-koračni postupak. Način kretanja za sva tri postupka prikazan je na slici 3./1/



Slika 2. Mjerna oprema za ispitivanje točnosti i pouzdanosti pozicioniranja na jednom obradnom centru.



Slika 3. Način prilazanja mjernoj poziciji /1/

Svaki od navedenih postupaka ima određene prednosti i nedostatke, a izbor nekog od njih ovisi o tome koje uzroke grešaka pri pozicioniranju želimo ustanoviti. Karakteristika ispitivanja po linearnom postupku je u tome što se povratno zauzimanje prve pozicije vrši tek nakon prolaza duž cijele osi u oba smjera. Vremenski razmak do ponovnog zauzimanja iste pozicije, ali iz drugog smjera kretanja, omogućava da se ispitivanjem obuhvate istežanja posmičnog vretena nastala na pr. uslijed zagrijavanja. Ovo se iskazuje kroz povratno odstupanje i kroz širinu rasipanja. Mjerenje ovim postupkom je vremenski najkraće.

Karakteristika koračnog postupka je kraći vremenski period ponovnog zauzimanja zadanih mjernih pozicija iz suprotnog smjera kretanja te ukupno veći put i duže trajanje cjelokupnog mjerenja u odnosu na linearni postupak, kod ovog postupka se toplinske dilatacije iskazuju kao sistematske greške.

Quasi - koračni postupak karakterizira najkraći vremenski period zauzimanja mjernih pozicija iz suprotnog smjera kretanja, ali i ukupno najveći put i najduže trajanje ciklusa mjerenja u odnosu na prethodne postupke. Utjecaj promjene temperature strojnih dijelova iskazuje se kao sistematska greška. Kod ovog postupka zagrijavanje dijelova stroja neznatno utječe na veličinu povratnih odstupanja i širinu rasipanja. Zbog toga je Quasi-koračni postupak posebno pogodan za utvrđivanje veličine povratnih odstupanja prema kojima se vrši korekcija grešaka.

Kod izvođenja mjerenja bitno je da se obuhvati što više mjernih pozicija bez obzira na postupak, te da se za svaku od njih mjerenje vrši najmanje 5 puta. Zbog smanjenja utjecaja periodičkih grešaka potrebno je odabrati nejednolik razmak između pojedinih mjernih pozicija.

##### 5. KARAKTERISTIČNE VELIČINE TOČNOSTI I POUZDANOSTI POZICIONIRANJA

Ne ulazeći u opis matematičko-sistematske obrade izmjerenih podataka u daljnem tekstu prikazane su samo karakteristične veličine kojima se određuje točnost i pouzdanost pozicioniranja duž neke upravljane osi obradnog stroja /4/. Na slici 4. dat je primjer grafičkog prikaza rezultata mjerenja sa osnovnim karakterističnim veličinama. Točnost i pouzdanost pozicioniranja je određena sa slijedećim statističkim pokazateljima :

- Nesigurnost pozicioniranja "P"

Predstavlja ukupno odstupanje koje je utvrđeno na ispitivanoj osi, a sadrži sve sistematske i slučajne greške.

- Greška pozicioniranja "Pa"

Predstavlja najveću grešku pozicioniranja duž cijele ispitivane osi, a obuhvaća sistematska odstupanja.

- Povratno odstupanje "U"

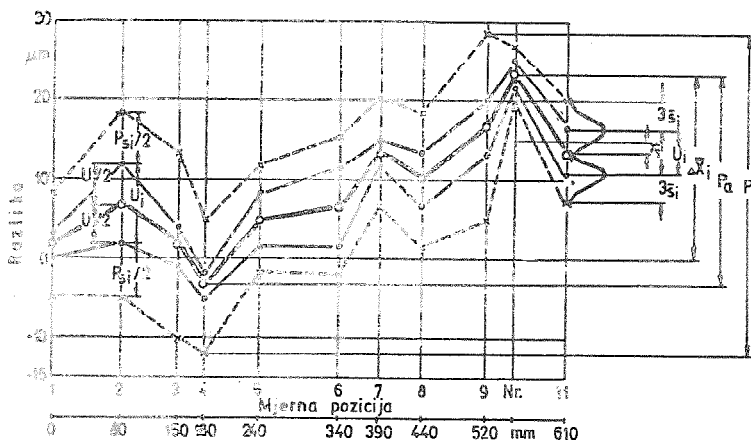
Sadrži sistematske greške koje se ispoljavaju kod povratnog zauzimanja mjerne pozicije. Pomoću ovog odstupanja moguće je pored ostalog utvrditi stupanj

prednaprezanja pogonskih i vodećih elemenata stroja.

- Širina rasipanja "Ps"

U ovoj veličini sadržane su greške slučajne prirode. Širina rasipanja odgovara području definiranom s  $\pm 3\sigma$  što garantira s vjerojatnošću od 99,7 % da će izmjerene greške biti u tako definiranom pojasu rasipanja.

Moderna mjerna oprema omogućava automatsku obradu rezultata mjerenja uz istovremeni grafički prikaz. Rezultati se dobivaju odmah po izvršenom mjerenju što omogućava istovremeno povećavanje točnosti pozicioniranja.



Slika 4. Grafički prikaz rezultata mjerenja točnosti pozicioniranja /1/

#### 6. PRAKTIČNI PRIMJER ISPITIVANJA TOČNOSTI I POUZDANOSTI POZICIONIRANJA /6/

Prethodno opisan način ispitivanja u cijelosti se primjenjuje prilikom završnog preuzimanja NU obradnih strojeva u SOR Jugoturbina, Karlovac. U daljnjem tekstu prikazati će se samo dio rezultata dobivenih prilikom ispitivanja jednog numerički upravljano stroja.

- ispitivani stroj : dvovretna CNC glodalica H - 30 VAS,

proizvođač ; Wanderer

- korištena mjerna oprema : laserski mjerni sistem HP5528A,

proizvođač ; Hewlett Packard

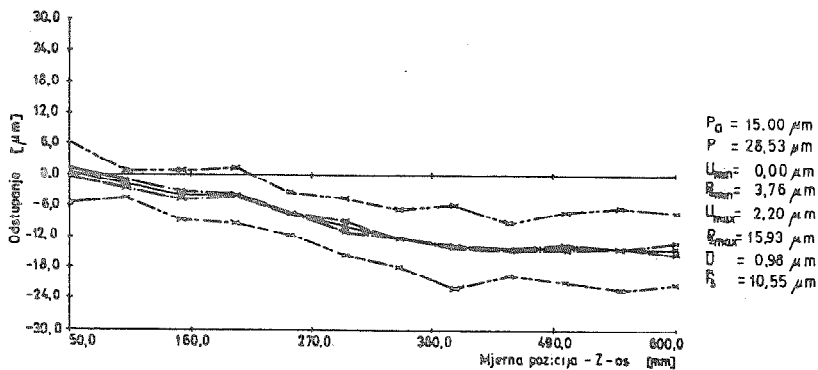
U primjeru su prikazani rezultati mjerenja točnosti pozicioniranja "Z" osi duž koje se vrši kretanje stola. Zahtjevana točnost pozicioniranja iznosila je :

$P = 25 \mu\text{m}$ ;  $\overline{Ps} = 10 \mu\text{m}$ ;  $Pa = 15 \mu\text{m}$ ;  $Ps_{\text{max}} = 10 \mu\text{m}$ ;  $U_{\text{max}} = 5 \mu\text{m}$ ;  $\overline{U} = 10 \mu\text{m}$

Ispitivanje, odnosno mjerenje, je izvršeno na bazi preporuka VDI/DGQ 3441 po Quasi-koračnom postupku.

Grafički prikaz rezultata prvog mjerenja s brojčanim pokazateljima točnosti pozicioniranja dat je na slici 5. Stanje okoline i temperature stroja bili su slijedeći :

- temperatura zraka 22°C; tlak 100,79 kPa; vlažnost 50 %
- temperatura stroja : senzor 1-23,3°C- senzor 2-20,9°C; senzor 3-21,5°C
- temperatura kompenzacije : 21,9°C



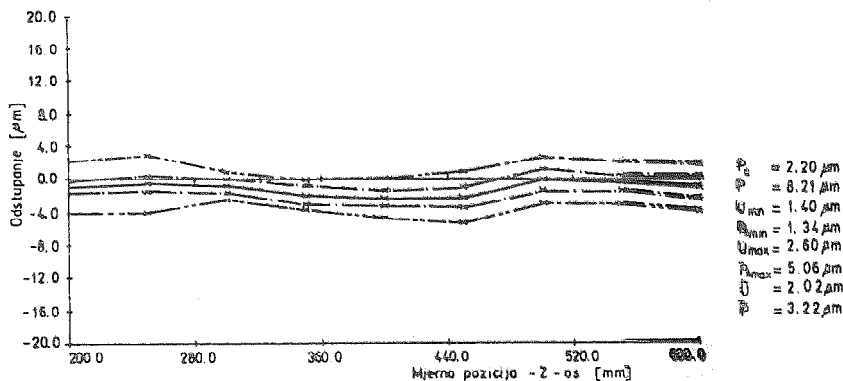
Slika 5. Točnost i pouzdanost pozicioniranja kod prvog mjerenja /6/

Pošto su vrijednosti  $P$ ,  $P_{s_{\max}}$  i  $P_s$  bile van granica ugovorenih i uobičajenih vrijednosti za ovu vrstu strojeva izvršeno je podešavanje Z-osi putem promjena konstanti stroja nakon čega je cijelo ispitivanje ponovljeno.

Rezultati ponovljenog mjerenja prikazani su na slici 6. U toku ponovljenog mjerenja stanje okoline i stroja je bilo slijedeće :

- temperatura zraka 22°C; tlak 101,24 kPa; vlažnost 50 %
- temperatura stroja : senzor 1-23,1°C; senzor 2-22,1°C; senzor 3-22°C
- temperatura kompenzacije : 22,4°C

Rezultati ponovljenog mjerenja nakon izvršenog podešavanja stroja su bili zadovoljavajući jer su greške pozicioniranja u granicama dozvoljenih odstupanja. Kompletan opisan ciklus mjerenja točnosti pozicioniranja Z-osi sa svim pripremnim aktivnostima (postavljanje i podešavanje mjerne opreme), podešavanje stroja i izvršenim mjerenjima ~~trajalo~~ je cca 4 sata, dobiveni rezultati su pouzdani. Korištenjem klasičnih metoda za isti posao trebalo bi znatno više vremena, a pouzdanost dobivenih rezultata bila bi znatno niža.



Slika 6. Točnost i pouzdanost pozicioniranja kod ponovljenog mjerenja /6/

## 7. ZAKLJUČAK

Upotreba laser-interferometra u montaži, ispitivanju i eksploataciji NU obradnih strojeva postaje veoma korisna i prema današnjem stanju razvoja nezamjenjiva kada se radi o strojevima visoke točnosti i pouzdanosti. Posebno je značajan pravilan izbor metode ispitivanja, izbor koraka te uvjeti ispitivanja kako bi se otkrile i otklonile greške pozicioniranja i ostvarila dovoljna pouzdanost da NU obradni stroj zadovolji traženoj točnosti i pouzdanosti rada. Ovo je posebno bitno i za eksploataciju obradnog stroja gdje je blagovremenim otkrivanjem povećanih odstupanja i poduzimanjem tešavanja moguće izbjeći škart zbog nezadovoljavajuće točnosti.

## Reference

- /1./ M.Weck; Werk zeugmaschinen ; Band 4; Messtechnische Untersuchung and Beurteilung, VDI Verlag Düsseldorf 1985.
- /2./ T.M.Hoffer, W.Fischer : Abnahme von Werkzeugmaschinen mit einem Laser-Me system Teil I und II, Hewlett-Packard Vertiebs GmbH, Frankfurt/Main
- /3./ K.Dickmann, H.P.Meiser : Laserinterferometer und ihre Anwendungen in der Fertigungstechnik, Technische Rundschau 48/88, str. 44-49.
- /4./ VDI/DGQ - Richt linen : Statistische Prüfung der Arbeits und Positionsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen, VDI/DGQ 3441 März 1977.
- /5./ R.Cebalo, S.Prahović, M.Mihelić : Točnost i pouzdanost obrade na alatnim strojevima; IX MEĐUNARODNO SAVJETOJANJE BIAM '88. Zagreb str. 65-68.
- /6./ R.Cebalo, M.Mihelić, T.Dujam : Izvještaj o ispitivanju točnosti i pouzdanosti stroja : Dvovretna glodalica H30 VAS/Wanderer, Jugoturbina-Institut, 1988.

R. Cebalo, M. Mihelić, S. Prković

POSITIONIERGENAUIGKEIT VON NO-ACHSE  
BEI WERKZEUGMASCHINEN

Zusammenfassung

Im Vortrag wurden einige Fragen in bezug auf die Untersuchung von Positionierungsgenauigkeit und -zuver- Lässigkeit an Werkzeugmaschinen behandelt. Es wurden Prüfverfahren (direkte und indirekte Messungen) und die Verwendung von Laser -Interferometer und anderen Messgeräten beschrieben. Anschliessend wurden die Ergebnisse einer bestimmten Untersuchung an einer Werkzeugmaschine dargestellt und die Schlussfolgerungen gegeben.

M.VUKOVIĆ\*

JEDAN KRITERIJUM IZBORA UREDJAJA ZA  
REGULISANJE ALATA VAN RADNE MAŠINE

1. UVOD

Tehnološki sistemi povišenog stepena složenosti zahtevaju odgovarajuću pripremu i regulisanje alata koje bi se vršile na posebnom uredjaju za regulisanje alata van radne mašine u preklapljenom vremenu, tj. za vreme zauzetosti sistema obradom neke druge serije predmeta rada. Ovakav način pripreme i regulisanja alata imao bi za posledicu povećanje efektivnog kapaciteta primenjenog tehnološkog sistema. Stoga izuzetni značaj predstavlja izbor odgovarajućeg uredjaja za regulisanje alata van radne mašine za konkretne proizvodne uslove. Pravilan izbor i primena uredjaja za regulisanje alata omogućuje i njegovu brzu amortizaciju.

2. KLASIFIKACIJA UREDJAJA ZA REGULISANJE ALATA

Na osnovu uvida u proizvodne programe velikog broja proizvođača uredjaja za regulisanje alata moguće je izvršiti osnovnu klasifikaciju uredjaja prema nameni, tj. vrsti alata i mašina za koje se vrši regulisanje i to na:

- uredjaje za regulisanje fiksnih alata,
- uredjaje za regulisanje rotacionih alata i
- univerzalne uredjaje za regulisanje fiksnih i rotacionih alata.

Zajednička odlika svih razmatranih proizvodnih programa je modularni sistem gradnje koji omogućuje da se polazeći od najprostijeg uredjaja za regulisanje alata iz date gama dodavanjem odgovarajućih modula i dopunske

---

\*Mr Miroslava Vuković, dipl.ing., profesor Više tehničke škole  
21000 Novi Sad, školska broj 1.

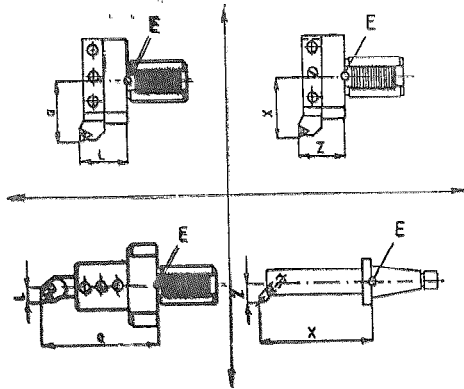


opreme, dodje do najslabijeg uređaja sa DNC upravljanjem.

Osnovni uslov koji omogućuje regulisanje alata van radne mašine jeste reprodukovanje istih statičkih uslova prihvatanja i stezanje nosača alata sa reznim alatom na uređaju za regulisanje alata kao što su oni na radnoj mašini. To se postiže primenom odgovarajućih adaptera čiji oblik, veličina i broj zavise od tipa nosača alata i tipa radne mašine.

Između ostalih karakteristika razmatrani uređaji za regulisanje alata razlikuju se prema:

- mogućnosti merenja jedne, dve ili tri koordinate postavljenog alata u odnosu na referentnu tačku koju mora imati svaki nosač alata (tačka E sl.1),
- veličini oblasti regulisanja tj. maksimalnim dimenzijama alata koji se mogu meriti ( $L \times Q$  ili  $Z \times \varnothing$ ),
- tačnosti merenja koordinata alata,
- mogućnosti biranja predznaka + ili - i  $2 \times 2$  orijentacije osa, ili četiri plana regulisanja alata,



Sl.1. Orijehtacije ose i planovi regulisanja alata

- mogućnosti istovremenog postavljanja jednog ili više adaptera na uređaj za regulisanje alata,
- mogućnosti dogradnje elektronske opreme obzirom na modularni sistem gradnje,
- mogućnosti kontrole stanja sečiva, ugla i radijusa vrha alata pomoću optičkog uređaja,
- cenf uređaja.

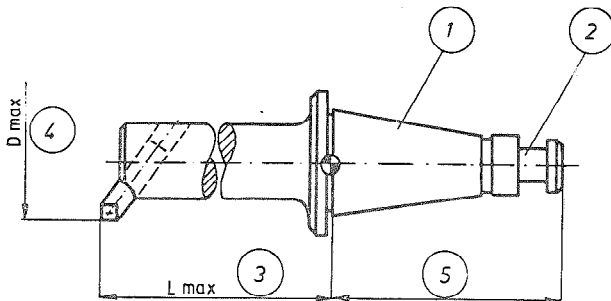
Cene uređaja za regulisanje alata zavisiće od nivoa tehnološke složenosti sistema za koji će se uređaj primenjivati i broja različitih potrebnih adaptera za prihvatanje i stezanje nosača alata. Unifikacije prihvatnih alata omogućile bi znatno smanjenje cene izabranog uređaja.

Na osnovu navedenih karakteristika uređjaja za regulisanje alata sačinjena je tabela koja može da posluži kao smernica pri izboru (Tabela 1).

### 3. IZBOR UREĐJAJA ZA REGULISANJE ALATA

Izboru uređjaja za regulisanje alata van radne mašine za konkretne proizvodne uslove mora da prethodi sveobuhvatna analiza tehnoloških sistema za koji će se vršiti regulisanje alata (tip, proizvođač, broj), primenjenih prihvatnih alata (tip, proizvođač, dimenzije) i reznih alata. Nakon toga potrebno je sistematizovati podatke i dati odgovarajuće crteže i to:

- crteže prihvatnih alata prema odgovarajućem standardu,
- crteže priteznih elemenata prihvatnih alata,
- maksimalne dužine prihvatnih alata,
- maksimalne prečnike koji treba da se rotiraju,
- + veličine odstojanja između osnove kontakta prihvatnog alata i kraja priteznog elementa (sl. 2 (1) i (2)),
- veličinu  $+Q_{max}$  za obrtne alate,
- veličinu  $-Q_{max}$  i
- crteže adaptera za prihvatni alat prema odgovarajućem standardu.



Sl. 2. Prihvatni alat sa karakterističnim dimenzijama

### 4. ZAKLJUČAK

Predloženi način izbora uređjaja za regulisanje alata omogućuje uvid u veoma širok asortiman svetskih i domaćih proizvođača ovih uređjaja. Sistematizacijom podataka o tehnološkim sistemima za koji bi se vršila regulacija alata kao i primenjenim prihvatnim i reznim alatima, dobile bi se karakteristike koje treba da poseduje uređjaj za regulisanje alata u konkretnim proizvodnim uslovima. Upoređivanjem dobijenih karakteristika sa karakteristikama velikog broja razmatranih uređjaja, moguće je izabrati optimalnu varijantu uređjaja za regulisanje alata van radne mašine.

TABELA 1.

Red. broj, vođač	OZNAKA UREDJAJA	Alati i mašine za koje je namenjen uređaj	Kote regulisanja				Tačnost za L(z) Q(x)	Broj istovremeno postavlj. adapteta i alata	Optički uređaj	Elektronska oprema (modularna gradnja)	Standardna oprema za prihvat alata	Cena pojedinih uređaja	
			L(z)	Q(x)	Osa pivaca	8							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.	STP 06 H	Rotirajući alati	600	-	-	-	0,01	-	4 alata	-	ne	ISO CHOMO ili DIN 6327	
2.	STP 06 HP	Rotirajući alati	600	-	-	-	0,01	-	5 alata	+	da	ISO CHOMO ili DIN 6327	
3.	SPERONI	Rotirajući alati svih tipova	600	500	-	-	0,001	0,001	1	+	da	Obično i patentno vretenište	
4.	ITALIA	Rotirajući alati	500	500	-	-	0,001	0,001	1	+	da	Patentno	od 30.000 DM
5.	STP 106	Rotirajući alati	600	1000	-	-	0,001	0,001	1	+	da	Vretenište sa blokažom	do 85.000 DM
6.	STP 109	Rotirajući alati svih tipova	900	1000	-	-	0,001	0,001	1	+	da	Ug pozicija	Zavisno od tipa i dopunske elektronske opreme
7.	STP 10135	Rotirajući alati velikih dimenzija	1350	1000	-	-	0,001	0,001	1	+	da		
8.	STP MINI UT	Za male strugove i vretenne	300	400	-	-	0,001	0,001	1 i više	+	da	Po želji kupca	
9.	STP 46 UT	CN strugovi revolver strugovi	600	400	-	-	0,001	0,001	1 i više	+	do DNC	Po želji kupca	
10.	STP T	Fiksni alati (strugovi)	600	400	150	-	0,001	0,001	1 i više	+	do DNC	Po želji kupca	
11.	STP TA ROBOT	Fiksni alati	600	400	150	-	0,001	0,001	1 i više	+	do DNC	Po želji kupca	
12.	ROLLEUR VENDOME FRANCE	Visoko produktivne mašine i rotirajući alati	500	-	-	-	0,01	-	5 alata	-	ne	CNOMC Ø16,20,28, 36,48	
13.	ROLLEUR 7802	Rotirajući alati	500	-	-	-	0,01	-	5 alata	+	da	ISO 30,40,45 i 50 max.	
14.	ROLLEUR 7202	Rotirajući alati	600	250	-	-	0,001	0,001	1	+	da	ISO 50 sa blokažom u svim pozicijama	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15.	ROLREGLEUR 7204 automa- tik 2 ose	600	250	-	0,001	0,001	1	+	CNC	ISO 50			
16.	ROLREGLEUR 7502	250	125	-	0,001	0,001	2	+	da	VDI 3425/2			
17.	ROLREGLEUR 7502 b uni- verzalni	250	125	-	0,001	0,001	2	+	da	ISO 40 VDI 3425/2			
18.	ROLREGLEUR 7402	400	200	-	0,001	0,001	4	+	da	VDI 3425/2			
19.	ROLREGLEUR 7402 b univerzalni alati	400	200	-	0,001	0,001	4	+	da	VDI 3425/2 HES ISO 50			
20.	ROLREGLEUR 7601 auto- matik 2 ose	800	300	-	0,001	0,001	6-12	+	da	VDI 3425/2 HES STRUG			
21.	ROLREGLEUR 7601 b auto- matik 2 ose	800	300	-	0,001	0,001	6-12	+	do DNC	VDI 3425/2 ISO 50	60.000 DM		
22.	ROLREGLEUR 7602	800	300	-	0,001	0,001	6-12	+	da	Po izboru kupca			
23.	ROLREGLEUR 7602 b	800	300	-	0,001	0,001	6-12	+	da	ISO 50 i po izboru kupca			
24.	TR 270	270	270	-									
25.	TR 280	270	420	-	0,001	0,001	1	+	da	Po izboru kupca			
26.	TR 271	270	270	-	0,001	0,001	4-6 okrugli sto Ø700	+	da	Po izboru kupca			
27.	TR 281	270	420	-									
28.	TR 273	270	270	-	0,001	0,001	3-4 okrugli sto Ø 400	+	da	Po izboru kupca			
29.	TR 283	270	420	-									
30.	TR 350	420	420	-	0,001	0,001	1		do CNC	Po izboru kupca			
31.	TR 360	620	420	-	0,001	0,001	1		do CNC	Po izboru kupca			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
32.		TR 380	Obradni centri	620	520	-	0,001	0,001	1	da	do CNC (EAG)	Po izboru kupca	
33.		TR 351	Fiksni i rotirajući alati	420	420	-	0,001	0,001	6-8 okrugli sto Ø 700	da	do CNC (EAG)	Po izboru kupca	
34.		TR 361	Fiksni i rotirajući alati	620	420	-	0,001	0,001	6-8	da	do CNC (EAG)	Po izboru kupca	
35.		TR 381	Fiksni i rotirajući alati	620	520	-	0,001	0,001	6-8	da	do CNC (EAG)	Po izboru kupca	
36.	MESSMA KELCH	TR 353	Fiksni i rotirajući alati	420	420	-	0,001	0,001	2-4 okrugli sto Ø 250	da	do CNC (EAG)	Po izboru kupca	55.000 DM
37.		TR 363	Fiksni i rotirajući alati	620	420	-	0,001	0,001	2-4 okrugli sto	da	do CNC (EAG)	Po izboru kupca	do 70.000 DM
38.		TR 620	Za fiksne i rotirajuće alate velikih težina	620	520	-	0,001	0,001	1-2	da	do CNC	Po izboru kupca	zavisno od tipa i dodatne električne opreme
39.		TR 800		800	520	-	0,001	0,001	1-2	da	do CNC	Po izboru kupca	
40.		TR 1240		1240	520	-	0,001	0,001	1-2	da	do CNC	Po izboru kupca	
41.		TR 6210	Fiksni i rotirajući alati	620	520	-	0,001	0,001	6-8 okrugli sto Ø 700	da	do CNC	Po izboru kupca	
42.		TR 801	Fiksni i rotirajući alati	800	520	-	0,001	0,001	6-8	da	do CNC	Po izboru kupca	
43.		TR 1241	velikih težina	1240	520	-	0,001	0,001	6-8	da	do CNC	Po izboru kupca	
44.		TR 622	Fiksni i rotirajući alati	620	520	-	0,001	0,001	do 12	da	do CNC	Po izboru kupca	
45.		TR 1242	Fiksni i rotirajući alati	1240	520	-	0,001	0,001	do 12	da	do CNC	Po izboru kupca	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11.	12	13	14
46.	ZOLLER ZAPADNA NEMACKA	EG 1200	Fiksni alati i rotirajući alati (CNC mašine)	270	220	-	0,001 0,001			+	do DNC	Po izboru kupca	
47.		EG 1800	Fiksni i rotirajući alati	420	370	-	0,001 0,001		1 i više zavisno od prečnika okruglog stola	+	do DNC	Po izboru kupca	
48.		EG 1800-620	Fiksni i rotirajući alati	620	370	-	0,001 0,001			+	do DNC	Po izboru kupca	
49.		EG 2500	Fiksni i rotirajući alati	620	500	-	0,001 0,001			+	do DNC	Po izboru kupca	
50.	DO COMPAGNIE D'OUTIL- LAGES DE PRECIS. HOH	"CO" MKH 700 TS	Fiksni i rotirajući alati	700	500	-	0,002 0,002	1-2		+	da	ISO 50	54.000 DM
51.		"CO" MKH 700 TD	Fiksni i rotirajući alati	700	500	-	0,001 0,002	1-2		+	da	u/100 ISO 50	52700 DM
52.	CASTEL PRESET ITALIJA	OLS 5	Rotirajući alati	400	400	-	0,01 0,002	1		+	ne	ISO 50	23.000 DM
53.	VENTIK M.V.6		Rotirajući alati	600	600	-	0,01 0,002	1		+	ne	ISO 50	
54.	E. BOMER SVAL- ITALIJA	MINI V-340.1	Rotirajući alati	420	320	-	0,01 0,002	1		-	do CNC	ISO 50 SE	
55.	CARMA	MINI V-340.2	Rotirajući alati	420	320	-	0,01 0,002	1		+	do CNC	ISO 50 SE	
56.	GILDE MEISTER NEMACKA	MICROSET EG 500 S	Rotirajući alati	720	1000	-	0,001 0,001	1		+	da	Po izboru kupca	35.000 DM
57.		MICROSET EG 500 WL	Rotirajući i fiksni alati	700	500	-	0,001 0,001	1 i više		+	da	Po izboru kupca	
58.	PRVO- MAJSKA JUGO- SLAVI- JA	UPA 500	Fiksni i rotirajući	600	500	-	0,001 0,001	1		+	da	ISO/DIS 7388/1 7388/2, ISO 40, ISO 45 ili ISO 50 VDI 3425 Bl.2 CILINDRIČNI Ø30,40 ili 50	

## Reference

- [1] Vuković, M.: Prilog izboru optimalne varijante alata na mašinama povišenog stepena složenosti, magistarski rad, FTN, Novi Sad (1988).
- [2] Zoller, E.: Möglichkeiten von Werkzeug-Voreinstell-systemen und Messgeräten, Werkstatt und Betrieb 114, (1981).
- [3] Katalozi i prospekti proizvođača uređaja za regulisanje alata.

M. Vuković

ONE CRITERIUM FOR TOOL REGULATION DEVICES  
CHOICE OUT OF THE WORKING MACHINE

S u m m a r y

The presented paper discusses problem of choice of tool regulation devices out of the working machine, which application means imperativ for each modern production system. Based on knowledge of production programs of large number of producers, paper gives chart with different characteristics of tool regulation devices and suggestion for activity which could contribute to the choise of optimal solution for tool regulation device out of the working machine for certain production conditions.

S.Vasić, J.Stankov.\*

METODE PROGRAMIRANJA NUMERIČKI UPRAVLJANIH MERNIH  
MAŠINA\*\*

1. UVOD

Numerički upravljane merne mašine (NUMM) predstavljaju kompleksne metrološke sisteme sa delimično ili potpuno programiranim i automatizovanim procesom merenja, obradom i indikacijom rezultata merenja. Njihovom primenom rešavaju se skoro sve klase metroloških problema koji se sreću u praksi [5]:

- merenje i kontrola koordinata (kartezijanske, polarne, cilindrične, sferne),
- dužinska merenja po osi, u ravni i u prostoru,
- kontrola oblika i položaja karakterističnih geometrijskih oblika u ravni i u prostoru,
- kontrola oblika i položaja složenih geometrijskih oblika u ravni i u prostoru (zupčanici, lopatice turbina, bregaste osovine itd.)

Radi što efikasnije realizacije navedenih metroloških zadataka pristupilo se intenzivnom razvoju postupaka pripreme informacija za upravljanje mernim mašinama. Razvoj kompjuterske tehnike usmerio je razvoj postupaka programiranja NUMM ka primeni računara i njima odgovarajućih perifernih jedinica.

---

\*) Siniša Vasić, dipl.ing., asistent; dr Jelena Stankov, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, V. Perića Valtera 2.

\*\*\*) Rad je proizašao iz istraživanja koje je finansirala SIZ NR Vojvodine



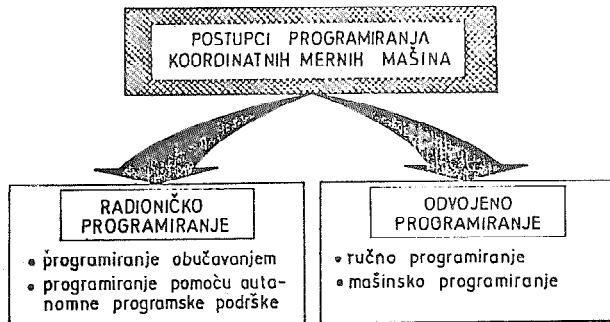
## 2. PROGRAMIRANJE NUMERIČKI UPRAVLJANIH MERNIH MAŠINA

Programiranje NUMM<sup>1)</sup> može se izvesti, zavisno od udela ručnih aktivnosti na mernoj mašini i zavisno od toga da li se i u kojoj meri primenjuje računar, u principu kao:

- ručno programiranje
- automatizovano programiranje.

U literaturi i praksi prisutni su različiti prilazi, terminologija i različite podele vezane za postupke programiranja NUMM, čija je šira analiza data u radu [12]. Na osnovu ove analize, a i radi očuvanja konzistentnosti sa terminologijom vezanom za postupke programiranja NU mašina alatki (NUMA), usvojenoj na Institutu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu, predlaže se sledeća osnovna podela postupaka programiranja NUMM (slika 1):

- radioničko programiranje
- odvojeno (eksterno, off-line) programiranje.



Slika 1. Postupci programiranja NUMM

### 2.1 Radioničko programiranje

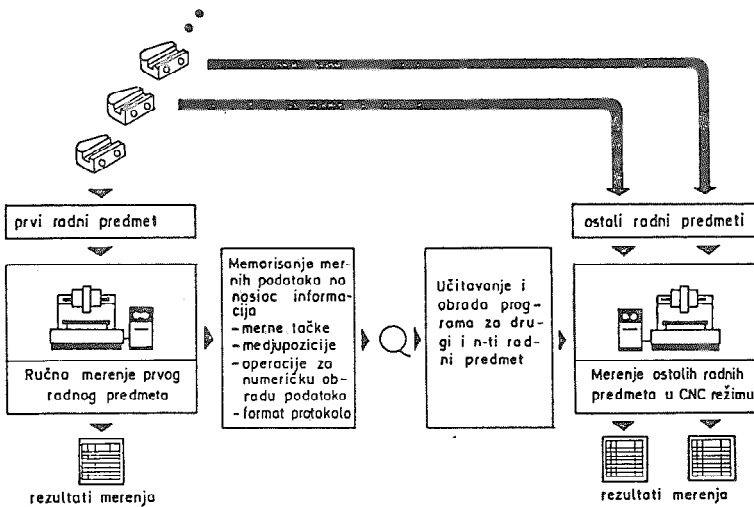
Radioničko programiranje obuhvata:

- programiranje obučavanjem, koje se izvodi na samoj mernoj mašini

1) Pod pojmom NUMM podrazumevaју se KMM sa NU, KNU i DNU upravljanjem.

- programiranje pomoću autonomne programske podrške koje se obavlja na računaru neposredno uz mernu mašinu pomoću "menü" funkcija razvijenih na bazi osnovnih geometrijskih elemenata i njihovih međusobnih odnosa.

Pri programiranju obučavanjem (slika 2) vrši se ručno merenje prvog izradjenog radnog predmeta neke serije, pri čemu se sva kretanja koje poslužioc izvodi na mašini u toku mernog procesa, sve naredbe koje unosi u računar merne mašine ili upravljački pult, memorišu na nosiocu informacija. Ovi podaci se kod drugog i svakog sledećeg radnog predmeta koji treba kontrolisati, sekvencijalno učitavaju i upravljaju automatskim mernim tokom.



Slika 2. Tok kontrole serije radnih predmeta primenom programiranja obučavanjem [10]

Medjutim, ovaj postupak programiranja poseduje značajne nedostatke:

- 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, odnosno kontrolu kvaliteta,

- zahtev za visokokvalifikovanim poslužiocem merne mašine,
- memorisanje se izvodi u internom kodu, te je tako onemogućen prenos programa sa jedne na drugu mernu mašinu u koliko nisu kompatibilne.

Proizvodjači NU i KNU mernih mašina su nezavisno jedni od drugih razvijali autonomnu programsku podršku za svoje mašine na bazi hardwareske logike upravljačkih jedinica [5, 11], 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 međusobni odnosi, kao i njihov 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.

## 2.2. Odvojeno programiranje

Eksploatacija NUMM je pokazala da je autonomnost programske podrške ograničavajući faktor u njihovoj efikasnoj primeni. Iz tog razloga se pristupilo razvoju programskih jezika orijentisane namene za ručno i mašinsko (automatizovano) programiranje NUMM koji ne bi zavisili kako od tipa same merne mašine, tako ni od njene upravljačke jedinice. Do sada je razvijeno nekoliko ovakvih programskih sistema: NCMES<sup>1)</sup> (SR Nemačka), SCAI<sup>2)</sup> i HELP<sup>3)</sup> (Italija), MAUS (DR Nemačka), MIKRON (SSSR).

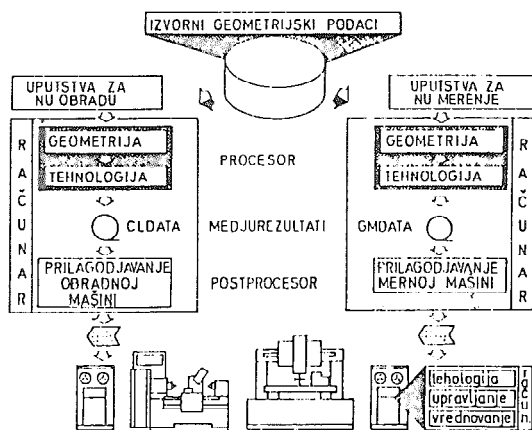
Razvoj sistema za odvojeno programiranje oslanjao se na sisteme za programiranje NUMA (slika 3). Pri programiranju NUMM vrši se

1) NCMES - Numerical Controlled Measuring and Evaluation System

2) SCAI - Software Controllo Automatico Inspector

3) HELP - High Level Expansible Language for Programming

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 koje sadrži svaki problemski orijentisani jezik. Propuštanjem ulaznih podataka kroz geometrijski i tehnološki procesor dobija se datoteka GMDATA<sup>1)</sup> 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.

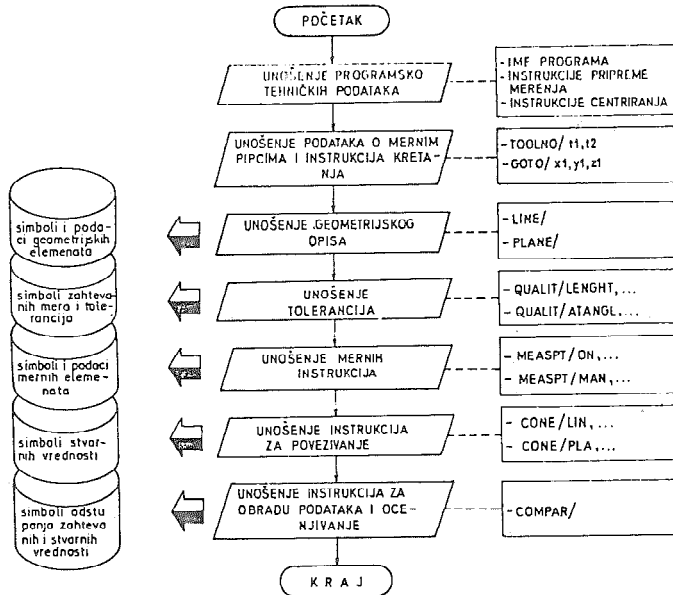


Slika 3. Sličnost postupaka programiranja NUMA i NUMM [1]

Odvajeno programiranje merno-kontrolnih tokova zahteva formulisanje programskih postavki u obliku izvornog programa. Pomoću problemsko orijentisanog jezika vrši se generisanje izvornog programa koji pored mernih podataka obuhvata i programsko-tehničke podatke, podatke o mernim glavama i mernim pipcima, instrukcije za geometrijska kretanja i obradu podataka. Na slici 4. je prikazan standardni tok formiranja izvornog programa.

Izvorni program (slika 5) počinje opštim informacijama o mernom zadatku u kojima se daju podaci o mernom predmetu, tipu postprocesora, mernom sistemu. Zatim se iz datoteke mernih glava i mer-

1) GMDATA - General Measuring Data



Slika 4. Standardni tok stvaranje izvornog programa [10]

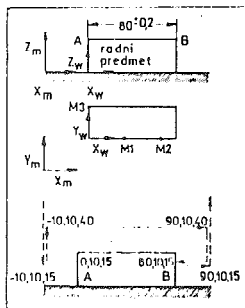
nih pipaka bira za dati merni zadatak najpogodnija konfiguracija mernih pipaka. U posebnom bloku se određuje koordinatni sistem u kome će se izvršiti merenje i na osnovu kog se u računaru određuje matrica transformacija koordinata u koordinatnim sistemima mašine i mernog predmeta. Nakon toga slede komande kretanja i merenja, a izvorni program se završava naredbama za izračunavanje i štampanje izmerenih vrednosti.

Razvoj simboličkih jezika doveo je i do razvoja sistema za automatizovano programiranje (SAP) kao posebnog oblika mašinskog programiranja, a potreba da se do mernih programa dodje što brže, uslovila je povezivanje SAP NUMM sa CAD sistemima. Ovakva integracija obezbeđuje [3]:

- povećanje ekonomičnosti pri izradi mernih programa,
- smanjenje učestalosti grešaka,
- brzu reakciju na konstruktivne promene zahvaljujući centralnoj bazi podataka,

PARTNO/TEST  
 MACHIN/NCM  
 CLDIST/3  
 SYST/METR  
 TOOLNO/23401  
 MANMES/M1,M2,M3,BIND,Z  
 XW-LINE/M1,M2  
 YW-LINE/M3,ATANGI,XW,90  
 TRANS/XW,YW,D  
 RAPID  
 GOTO/P1=POINT -10,10,15)  
 MESUR/A,0,10,15  
 RAPID  
 GOTO/P1  
 GOTO/-10,10,40  
 GOTO/90,10,40  
 GOTO/P7=POINTI 90,10,15)  
 MFSUR/B,80,10,15  
 RAPID  
 GOTO/P2  
 GOTO/90,10,100  
 DIST/L1,A,B  
 PRINT/NORM,L1  
 FINI

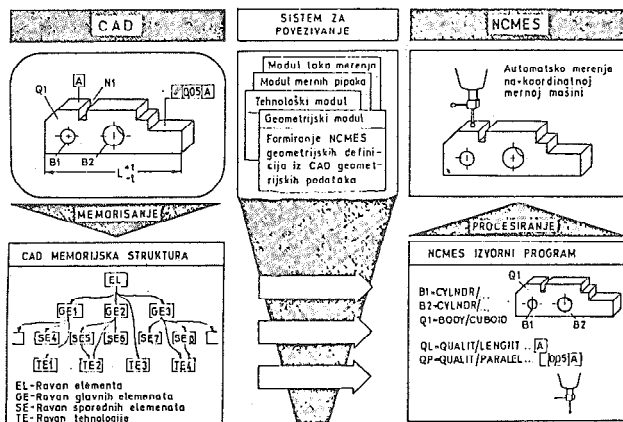
opšti podaci  
 merna glava  
 podešavanje položaja dela  
 komande kretanja i merenja  
 izlaz rezultata merenja



Slika 5. Izvorni NCIES program za merenje dužina [8]

- stvaranje uslova za potpuno automatizovano generisanje mernih programa,
- poboljšanje grafičke kontrole kolizije, simuliranjem toka merenja na modelu pomoću grafičke jedinice.

Kao ilustracija ovome na slici 6. je prikazan opšti princip povezivanja NCMES i CAD sistema koje je moguće zahvaljujući modularnoj strukturi NCMES programskog sistema sa odvojenom obradom geometrijskih i tehnoloških informacija.



Slika 6. Povezivanje NCMES sistema i CAD sistema [3]

### 3. UMETO ZAKLJUČKA

NUMM predstavljaju najsavremenije metrološke sisteme koji zahvaljujući svojoj univerzalnosti, fleksibilnosti, tačnosti i efi-

kasnosti omogućavaju rešavanje skoro svih mernih zadataka koji se pojavljuju u praksi. Radi što efikasnije realizacije tih zadataka pristupilo se intenzivnom razvoju postupaka programiranja NUMM. Rad predstavlja pokušaj da se na ograničenom prostoru, na osnovu analize domaće i strane literature, da predlog osnovne podele postupaka programiranja NUMM uz kroki prikaz osnovnih karakteristika pojedinih metoda.

#### R e f e r e n c e

- [1] Bambach, Pfeifer, Göluke, Stöferle i dr.: Rationale Qualitätssicherung durch Prüfplanung und objektivierte Meßmethoden, Industrie anzeiger, 70, 1978.
- [2] Barner A.: Geometrieverarbeitung und Beschreibung geometrischer Elemente in NCMES, Industrie anzeiger, 99, 1978.
- [3] 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.
- [4] Hodolić J.: Integralni prilaz postprocesiranju upravljačkih informacija u sistemu za automatizovano programiranje NU fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka, doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1988.
- [5] Majstorović V., Stanić J.: Numerički upravljane merne mašine i fleksibilna automatizacija, "Nove tehnologije u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala", Herceg Novi, 1983.
- [6] Majstorović V., Stanić J.: Software-ska podrška za NU merne mašine, III naučno-stručni skup MMA '83, Novi Sad, 1983.
- [7] Majstorović V., Stanić J.: Fleksibilna automatizacija u proizvodnoj metrologiji, seminar "Inovacije i automatizacija u proizvodnoj mernoj tehnici", Maribor, 1984.
- [8] Pfau D., Koerth D.: Probleme der maschinellen Programmierung numerisch gesteuerter Messmaschinen, Techn. Zbb. prakt. Metallbearbeitung, 69, (1975), 2.
- [9] Pfeifer T.: Programming of Measuring Machines, Technology of Machine Tools, 5, 1980.
- [10] Schöling H.: Optimierung der Off-line-Programmierung von CNC-Mehrkoordinaten - Meßgeräten, dissertation, RWTH, Aachen, 1982.
- [11] Stanić J., Majstorović V.: Analiza jezika za programiranje NU mernih mašina, Peto jugoslovensko savetovanje korisnika i proizvođača numeričkih mašina alatki i robota, Beograd, 1982.
- [12] Vasić S.: Analiza programske podrške za koordinatne merne mašine, seminarski rad, FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1988.

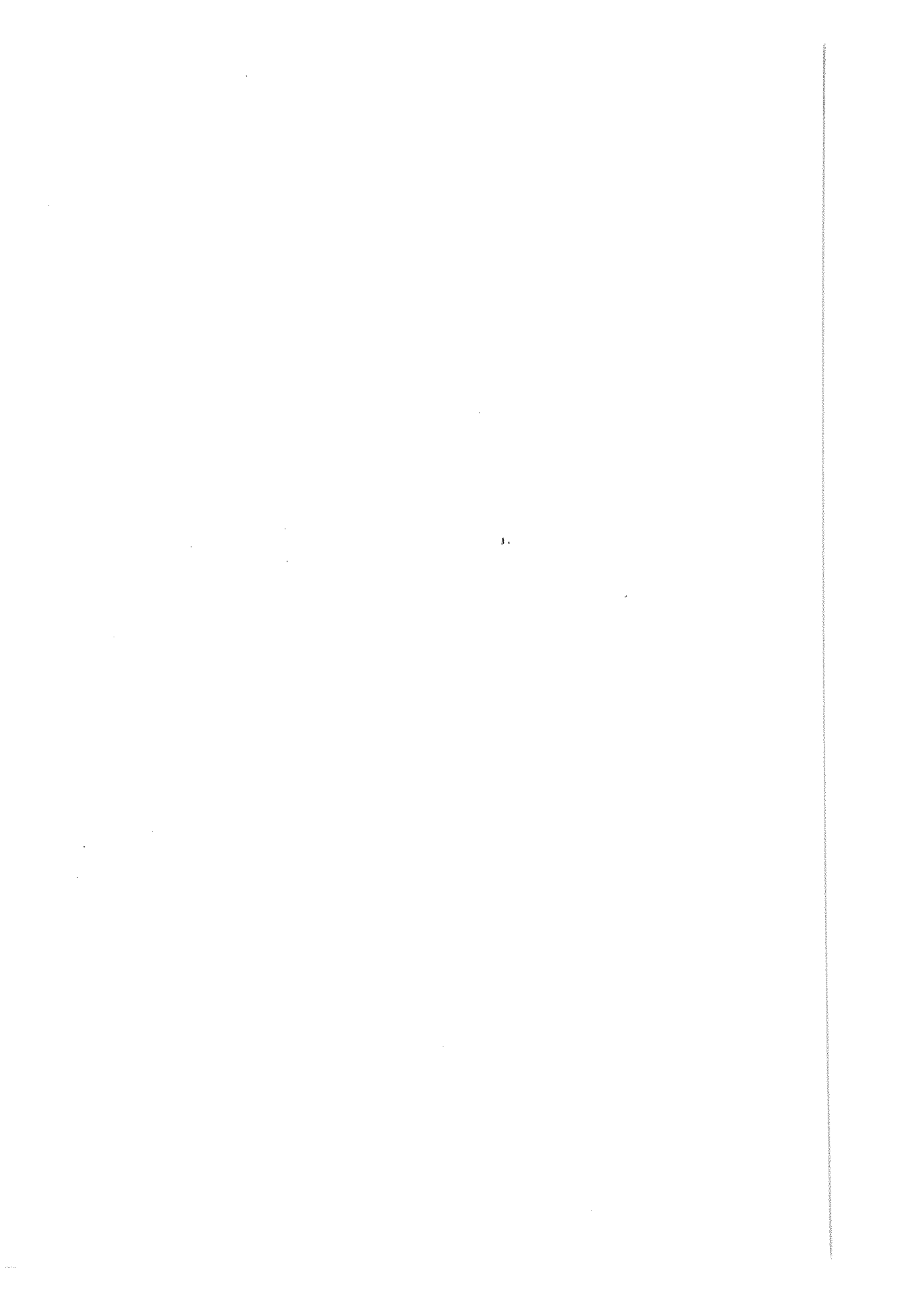
S. Vasić, J. Stankov

## PROGRAMMING METHODES OF NUMERICAL CONTROLLED MEASURING MACHINES

### *S u m m a r y*

*Numerical Controlled Measuring Machines (NCMM) represent the complex metrological systems with partial or full programming and automatization measuring processes, processing and indication measuring results. They make possible solving almost the all metrological problems appear in practice. Because of effective realization these measuring tasks, intensive development of processes for preparation of controlling informations for NCMM is escorted. The paper is attempt of defining, on the base of domestic and foreign literature analyse, basic clasification of programming methodes for NCMM, on the limited space. In the paper, the short review of basic characteristics of these methodes is given as well.*





T. Udiljak, W. Yeshitila\*

PROGRAMIRANJE NUMERIČKI UPRAVLJANIH ALATNIH STROJEVA

1. UVOD

Istovremeno s pojavom numerički upravljanih (NU) alatnih strojeva počinje i razvoj postupaka za njihovo programiranje. Povećanje opsega primjene NU strojeva i razvoj upravljačkih sustava pogoduju i opravdavaju razvoj različitih postupaka programiranja s velikim brojem podvarijanti.

Kad se danas u području proizvodnog strojarstva govori o novim tehnologijama tada se najčešće spominju pojmovi fleksibilni proizvodni sustavi (FPS) i koncept računalom integrirane proizvodnje (CIM). U proizvodnom strojarstvu jezgru FPS čine NU strojevi, pa je tako i programiranje NU strojeva jedan od osnovnih elemenata software-ske podrške u svim fazama NU tehnike i tehnologije. Hardware-ska i software-ska integracija odgovarajuće opreme tek treba postići širu primjenu i to prvenstveno kroz standardizaciju hardware-a i software-a potrebnog za povezivanje pojedinih elemenata. Značajna primjena (i to u sasvim određenim područjima) FPS-a i principa "otočne automatizacije" može se očekivati tek u idućem desetljeću. Za one sredine koje nemaju strukturu proizvodnje ili ekonomsku opravdanost za primjenu FPS-a, kao i za one koje smatraju da su to za njih pogodni oblici NU tehnike i spremaju se za njihovo uvođenje, izbor postupaka programiranja i s tim u vezi odgovarajuće opreme i programske podrške predstavlja važan korak.

2. POSTUPCI PROGRAMIRANJA NU STROJEVA

Programiranje NU alatnog stroja može se opisati kao postupak definiranja

---

\*/ mr Toma Udiljak, dipl.ing.stroj., znanstveni asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, D. Salaja 5

Wuhib Yeshitila, dipl.ing stroj., viši stručni suradnik Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, D. Salaja 5

-geometrijskih, tehnoloških i funkcionalnih informacija potrebnih za izradu nekog dijela u kodu ("jeziku") koji upravljačka jedinica može prihvatiti i obraditi. Cilj svakog postupka programiranja je da omogući što efikasniju i pouzdaniju izradu programa za NU stroj. U većoj ili manjoj mjeri, direktno ili indirektno, kod svakog postupka programiranja koristi se pomoć računala. Najčešća podjela postupaka programiranja upravo je funkcija opsega i načina korištenja računala pri stvaranju programa za NU stroj.

### 2.1 Ručno programiranje NU strojeva

Ručno programiranje NU strojeva podrazumjeva definiranje svih informacija potrebnih za rad NU stroja direktno u kodu upravljačke jedinice (UJ), a prema standardima ISO 1056 ili DIN 66025. Kod ovog načina programiranja upotreba računala ograničena je na izračunavanje geometrijskih podataka koji se ne mogu čitati s radioničkog crteža, a u pojedinim slučajevima računalo se koristi za uređivanje (editiranje) i provjeru programa. Bitno je naglasiti da uloga računala kod ručnog programiranja nije definirana ni obavezna, pa u najvećoj mjeri ovisi o krajnjem korisniku.

Najznačajniji utjecaj na ručno programiranje imao je razvoj UJ. Zbog vrlo velikih razlika u mogućnostima UJ naglasiti će se samo opće karakteristike ovog postupka programiranja:

- program nije univerzalan, već vrijedi za jednoznačno definiranu kombinaciju NU stroj-UJ;
- postupak nije primjenjiv za obratke složene geometrije (uvjetno se može reći da je primjenjiv do 2 1/2 D);
- tehnolog programer teško može programirati više kombinacija NU stroj-UJ;
- postupak je neprikladan za složenije stupnjeve NU tehnike.

Kod UJ "prosječnog" nivoa, ručno programiranje ima puno više manjkavosti, pa se može reći da u svim sredinama sa značajnijom primjenom NU strojeva ručno programiranje može biti samo kratka prelazna faza, kako bi se stekla osnovna iskustva i znanja za prelaz na savremenije postupke pripreme programa.

Često puta se u literaturi programiranje dijeli prema mjestu programiranja na pogonsko i uredsko (u birou pripreme rada). Takva podjela ima smisla naročito kod ručnog programiranja, pri čemu je uočljivo da se zbog sve bogatijeg software-a za UJ preferira pogonsko ručno programiranje jer tek tada sve pogodnosti UJ (dijaloški rad, simulacija, itd.) dolaze do izražaja. Nivo korištenja računala kod pogonskog programiranja još uvijek je najčešće ograničen na editorske sustave pogodne za brzo i pregledno unošenje programa u kodu UJ.

## 2.2 Automatizirano programiranje NU alatnih strojeva

Programiranje NU strojeva metodom automatiziranog programiranja podrazumjeva korištenje viših programskih jezika, problemski orjentiranih. Neposredni produkt automatiziranog programiranja je "izvorni program" ili program dijela ("partprogram", "tele program"). Dobivanje izvedbenog programa najčešće se odvija u dvije faze. U prvoj fazi procesor obradi izvorni program, a kao rezultat dobije se CL datoteka (datoteka putanje alata). Format i sadržaj CL datoteke nije prilagođen jeziku UJ, pa se u drugoj fazi pomoću postprocesora (prilagodni program), CL datoteka prevodi u jezik koji odgovara konkretnoj kombinaciji NU stroj-UJ. Prednosti ovog postupka u odnosu na ručno programiranje su sljedeće:

- univerzalnost programskog jezika;
- tehnolog-programer može programirati više strojeva (najčešće za jedan postupak obrade);
- mogućnost korištenja datoteka s tehnološkim parametrima;
- mogućnost simulacije i provjere kolizije;
- mogućnost integracije u složenija oblike računarske podrške.

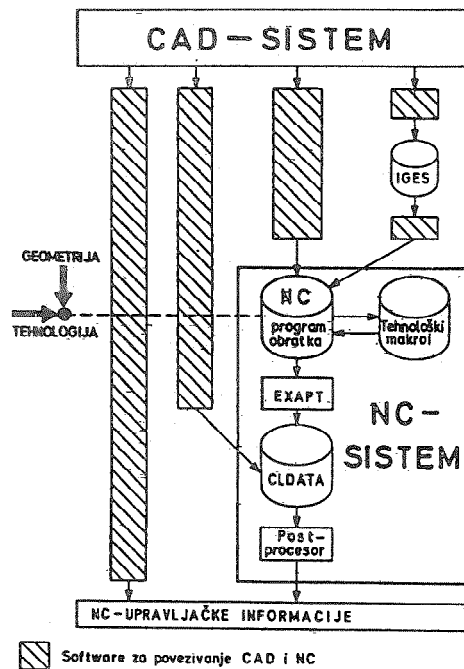
Danas je u upotrebi vrlo velik broj procesora za automatizirano programiranje /1,2/ i bilo je više značajnih pokušaja da se izvrši vrednovanje procesora /2,3,4/. Zaključak koji bi se na temelju tih istraživanja i osobnih iskustava mogao izvesti je da nema postupka za univerzalno rangiranje procesora, jer vrednovanje karakteristika procesora ima smisla samo sa stanovišta organizacije koja želi primjeniti ili već primjenjuje neki procesor.

Premda je automatizirano programiranje vrlo raširen postupak programiranja, može se očekivati da će vremenom opadati značaj i primjena procesora kao zasebne programske podrške. Tome svakako pridonosi i nastojanje prema sve većoj integraciji pojedinih područja s primjenom računala. S tim u vezi može se reći da je sličnost APT-u jedna od poželjnih značajki procesora, jer je zastupljenost APT-a u CAD/CAM sustavima vrlo velika. Ovisno o CAD/CAM sustavu, time se mogu postići značajne uštede u izobrazbi kadra i razvoju programske podrške za vlastite potrebe (izvorni programi, postprocesori).

## 2.3 Programiranje NU strojeva u CAD/CAM sustavima

Jedan od značajnih elemenata programske podrške u okviru CAD/CAM sustava je i programiranje NU strojeva. U literaturi se to često navodi i kao CAD-NU povezivanje, ili šire CAD-CAP, obzirom da je programiranje NU strojeva jedan od aktivnosti koje se provode u okviru CAP-a. Do sada spomenuti postupci

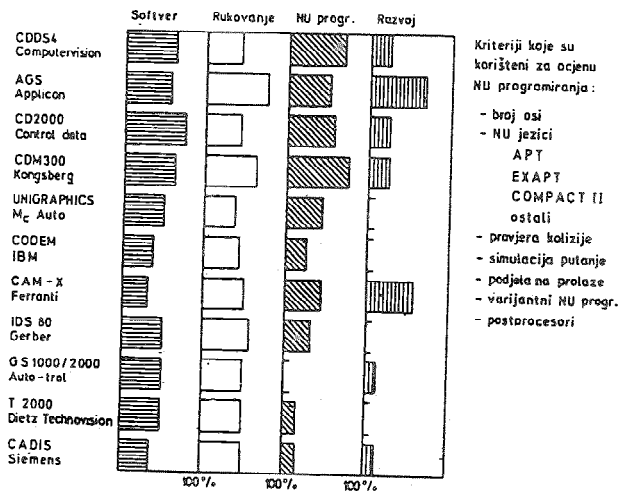
programiranja promatrani su i stvarani neovisno o drugim mogućnostima računarske podrške, dok je jedna od najvažnijih karakteristika ovog postupka povezanost sa drugim paketima programske podrške. Realni uvjeti za primjenu povezivanja CAD sustava i programiranja NU strojeva nastaju razvojem računarske grafike. Razvojem računarske grafike, povezivanje CAD sustava i NU programiranja doživljava nagli uspon, jer je ostvarena mogućnost neposredne "slikovne" komunikacije između čovjeka, računala i različitih CA paketa. Značajna primjena CAD/NU sustava počinje tek u 80-tim godinama. Tako se npr. prema /5/ broj primjena CAD sustava u SRNJ u periodu 1983/1985. povećao 50% dok se broj realiziranih CAD/NU sustava povećao 150%.



Slika 1. Mogućnosti povezivanja CAD sistema i programiranja NC strojeva

Programiranje NU strojeva u CAD/CAM sustavima može se realizirati na više načina /6/, pri čemu se mogu uočiti dva različita pristupa. Za prvi pristup karakteristična je integracija programskih NU modula u CAD sustav. Prenos geometrijskih podataka iz CAD baze u NU modul je interno definirano, a program se do kraja definira u interaktivnom grafičkom radu. Kod ovog pristupa postoje dva rješenja koja su prikazana na lijevoj polovini slike 1. Kod prve varijante u

okviru CAD sustava (odnosno u njegovom NU modulu) dobije se izvedeni program (u kodu UJ), što znači da u sustav moraju biti integrirani i postprocesori. Druga mogućnost ograničava se na formiranje CL datoteke u okviru integriranog NU modula, dok se postprocesiranje obavlja neovisno o CAD/NU sustavu. Danas postoji velik broj integriranih CAD/NU sustava (slika 2.) sa širokim područjem primjene.

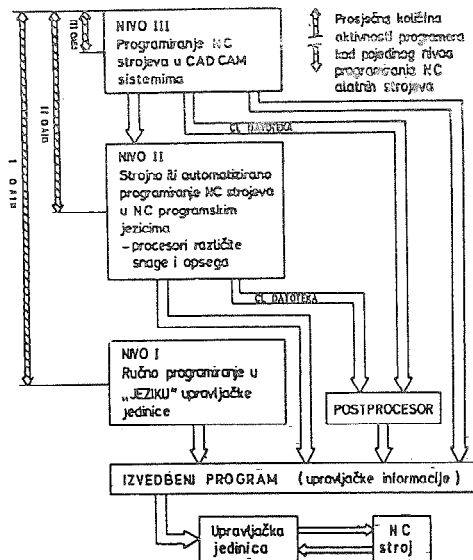


Slika 2. Usporedba nekih CAD sustava

Drugi pristup programiranju NU strojeva u okviru CAD/CAM sustava karakterističan je po povezivanju CAD sustava i samostojećih NU sustava (procesora).<sup>8</sup> Pri tome postoji znatno više mogućnosti nego kod prvog pristupa. Općenito se može reći da je ovaj način znatno fleksibilniji, prvenstveno zato što programiranje nije uvjetovano konstrukcijom nekog dijela u CAD sustavu (što je kod prvog pristupa slučaj). Značajna prednost ovog pristupa je i u tome što se može zadržati postojeći procesor za programiranje u NU strojeva, a time i sva programska podrška (MACRO-i, postprocesori,...) razvijena za vrijeme korištenja postojećeg procesora. Nedostatak ovog pristupa je u neriješenom problemu (barem ne do kraja) interface-a između CAD sustava i NU procesora. Za prijenos podataka između CAD sustava i NU sustava koriste se uglavnom dva načina, tzv. jezični i podatkovni interface-i, desni dio slike 1. Sve navedene mogućnosti programiranja NU strojeva u CAD/CAM sustavima su rješenja koja se gotovo isključivo ograničavaju na povezivanje ili integraciju CAD sustava za NU programiranje. Kako su CAD/CAM sustavi jedna od osnovnih pretpostavki za više stupnjeve integracije, a pored CAD-a i NU programiranja uključuju i druge

aktivnosti, novija istraživanja nastoje problem programiranja NU strojeva riješiti integralno sa ostalim područjima računarske podrške. U tu svrhu razvijaju se sustavi koji pretpostavljaju korištenje neutralne banke podataka s podacima o pojedinim dijelovima, odnosno proizvodima. Takva banka podataka omogućavala bi pristup (unos i ispitavanje) svim CA paketima [7]. Premda se opisana koncepcija razvija na više mjesta, na tržištu još nema gotovog rješenja.

Postojeće stanje u korištenju CAD/CAM sustava za programiranje NU strojeva pokazuje veliki porast primjene ovakvog postupka, ali i neke još uvijek neriješene probleme. Glavni problem svakako predstavlja definiranje tehnoloških elemenata i režima rada, što je naročito izraženo kod integriranih NU modula. Primjena drugog pristupa (CAD-NU povezivanje) omogućuje korištenje nekih procesora s razvijenim modulima za automatizirano definiranje tehnologije, što pored drugih prednosti uvjetuje veći broj primjena CAD-NU povezivanja u odnosu na CAD-NU integrirane module. Glavni nedostatak CAD-NU povezivanja je potreba za razvojem (kupnjom) posebnog interface-a u situacijama kad neki od šire prihvaćenih interface-a (IGES, VDA-FS) ne zadovoljava potrebe.



Slika 3. Nivoi automatizacije kod programiranja NU alatnih strojeva

#### 2.4 Ostale mogućnosti programiranja

Metode programiranja NU strojeva koje su opisane u prethodnim točkama prikazuju razvoj postupaka programiranja u smislu sve cjelovitije primjene

računala, a sve manjeg učešća čovjeka na formalnim zadacima kodiranja. Svaka od opisanih metoda prema redosljedu kojim su navedene, pretstavlja kvalitativni pomak u navedenom smislu. U sredinama koje primjenjuju NU strojeve, premda u različitom opsegu, primjenjuju se sve opisane metode. Prihvaćena podjela programiranja temelji se prvenstveno na NU alatnim strojevima opće namjene. U drugim područjima NU strojeva, kao i kod NU alatnih strojeva posebne namjene, koriste se i drugi postupci programiranja koje je po njihovim karakteristikama teško svrstati u jednu od prethodno spomenutih kategorija. Tu se prvenstveno misli na metode digitalizacije i skaniranja. Digitalizacija podrazumjeva snimanje točaka predmeta obrade s crteža i najčešće se koristi samo za upravljanje točka po točka. Skaniranje je postupak koji se temelji na snimanju koordinata stvarnog predmeta (modela), gdje su elementi konture složenijeg oblika i najčešće ne funkcijskog.

### 3. ZAKLJUČAK

Dosadašnja razmatranja programiranja NU strojeva omogućuju pregled postupaka programiranja sa stanovišta automatizacije, odnosno udjela čovjeka u proceduri prevodenja informacija s crteža radnog predmeta u informacije potrebne za rad NU alatnog stroja. Prema slici 3. uočljivo je da količina aktivnosti koju izvodi tehnolog-programer opada u slijedu od ručnog programiranja prema programiranju u CAD/CAM sustavima. Pod pretpostavkom da će se ovakva tendencija nastaviti, moguće je predvidjeti da će programiranje NU strojeva u sve većoj mjeri postajati dio aktivnosti u okviru CAD sustava, jer će ostvarena programska podrška (geometrijska i tehnološka) eliminirati ili u velikoj mjeri minimizirati neposrednu aktivnost čovjeka u procesu programiranja.

Neopravdano bi bilo ne spomenuti neke postupke u kojima možda leži budućnost programiranja NU strojeva, a u koje se sigurno ulaže puno rada i sredstava. U ovom radu oni će se samo spomenuti, a više podataka može se naći u literaturi /1,3,7,8,11/. Tu spadaju "osuvremenjeno (napredno) numeričko upravljanje" (Advanced Numerical Control "ANC"), korištenje ekspertnih sustava i programiranje glasom (Voice Numerical Control "VNC"). Spomenuti postupci su još uvijek u fazi eksperimenta, a tek će vrijeme pokazati njihove pogodnosti za situ industrijsku upotrebu.

### LITERTURA

- 1 - Redaktionelle Bearbeitung (IFIO) H.Kirchhoff, N.Ozkan, H.Witte: NC-programmier-Systeme 86/87, Carl Hanser Verlag, München, 1986.



- 2 - R.Gatalo: Prilog razvoju integralnog sistema za automatsko projektovanje rotacionih izradaka i njihove tehnologije izrade u metaloprerađivačkoj industriji, doktorska disertacija, FTN Novi sad, 1978.
- 3 - K.M.Gettelman, H.Marshall, W.Nordquist: 1987 NC/CIM Guidebook, Modern Machine Shop, Clough Pike, 1987.
- 4 - H.Witte, N.Ozkan, H.Kirchhoff: NC-Programmier systeme badarfgerecht auswahlen, Werkstatt und Betrieb 120 (1987) 2 S. 105 - 110.
- 5 - G.Lay, M.Boffo, R.J.Schneider: Integration von rechnergestuetzter Konstruktion und NC-Programmierung, ZVF 82(1987)6, S. 325-332.
- 6 - J.Milberg, S.Peiker: Geometrie und technologieorientierte Verbindung von CAD-Systemen mit NC-Programmiersystemen, wt Werkstattstechnik 77(1987)10 S.583-586.
- 7 - G.Spur, F.L.Krause: CAD-Technik, Carl Hanser Verlag, Munchen-Wien, 1984.
- 8 - P.G.Ranky: Computer integrated manufacturing, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1986.
- 9 - H.Rapp: Bewertung von CAD-Systemen, Technischer Verlag Gunter Grossmann, Stuttgart, 1986.
- 10- M.P.Groover, E.W.Zimmers,JR: CAD/CAM, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1984.
- 11- B.J.Davies: Knowledge-Based Systems in production Engineering, Ann. of the CIRP, Vol. 35/2, (1986) 423-424.
- 12- G.Sohlenius, T.Kjellberg: Artificial Intelligence and its Potential Use in the Manufacturing System, Ann. of the CIRP, vol. 35/2, (1986) 425-432.
- 13- K.Wright, G.Chryssolouris: Knowledge-Based Systems in Manufacturing, Ann. of the CIRP, vol. 35/2, (1986) 437-440.
- 14- Toma Udiljak: Prilog automatiziranom programiranju za numerički upravljanje alatne strojeve, magistarski rad, FSB Zagreb, 1988.

T. Udiljak, W. Yeshitila

#### PROGRAMMING OF NUMERICAL CONTROLLED MACHINES

#### S u m m a r y

This paper contains a short description of possibilities for programming of numerically controlled machine tools. It also presents a sistematisation of procedures for NC part programming from the standpoint of computer usage. The programming methods which are being developed are also mentioned. Finally, it compares the different programming methods and point out their advantages and disadvantages.

M. Soković, A. Janežič<sup>\*)</sup>

**MODEL IZOBRAŽEVANJA KADROV ZA DELO NA CNC - OBDELOVALNIH  
STROJIH Z UPORABO DIDAKTIČNIH CNC - STROJEV**

1. UVOD

Želja po hitrejši, cenejši in kakovostnejši izdelavi je pri človeku vedno prisotna, vendar tem željam lahko ugodimo le s sodobnimi tehnološkimi rešitvami in z ustrezno opremo. Za kovinsko-predelovalno industrijo lahko z gotovostjo trdimo, da so to CNC - obdelovalni stroji in sistemi, ki se vse bolj uveljavljajo tudi v naših izdelovalnih obratih. Taka moderna in zahtevna tehnika pa potrebuje ustrezno izobražene kadre, kateri bi jo znali optimalno izkoristiti.

Dosedanje izobraževanje kadrov je bilo največkrat opravljeno kar na delovnem mestu samem in ni imelo enotne oblike. Ker pa so potrebe po tovrstnih kadrih vse večje, je bila vse bolj prisotna zahteva po sistematičnem in organiziranem izobraževanju v specializiranih učilnicah (praktikumih), ki so opremljene z ustrezno didaktično opremo. Samo izobraževanje naj bi potekalo po enotnem učnem programu - modelu izobraževanja. Takšen način dela je v nekaterih zahodnih državah že dalj časa v veljavi, prvi koraki v tej smeri pa so pri nas storjeni v letu 1985 v Tehničkom obrazovnom centru Prvomajska v Zagrebu /1/ in leta 1986 v Srednji šoli tehniških strok Franca Leskoška - Luke v Ljubljani /2/.

---

<sup>\*)</sup> mag.Mirko Soković,dipl.inž., višji predavatelj, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, Murnikova 2  
Alojz Janežič,inž.strojništva, SŠTS Franca Leskoška - Luke, 61000 Ljubljana, Djakovićeve 53

## 2. MODEL IZOBRAŽEVANJA Z UPORABO DIDAKTIČNIH CNC - STROJEV

### 2.1. Osnovna izhodišča

Sodobni obdelovalni sistemi zajemajo poleg obdelovalnega stroja in ustreznega NC- ali CNC- krmilja vse bolj pogosto tudi fleksibilne strežne naprave ter merilne naprave. Tako kompleksno sestavljeni sistemi so zelo dragi in za svoje nemoteno delovanje terjajo drugačen pristop dela kot smo tega vajeni pri uporabi klasičnih strojev v obdelovalni tehniki. Predvsem se zahteva natančno načrtovanje tehnološkega procesa, boljša organizacija dela ter uporaba kakovostnejšega orodja. Vsem tem zahtevam pa so lahko kos le dobro usposobljeni delavci: tehnologi, programerji, strežniki, prednastavljalci orodij in ostali.

Da sodobna strojna oprema pri nas pogosto ne daje pričakovanih rezultatov dela, je predvsem posledica pomanjkljivega znanja delavcev. Vzrok za tako stanje pa je prav gotovo v **neustreznem** in **nenadžrtnem** izobraževanju oziroma usposabljanju kadrov za tako specifična dela.

Prvotne ugotovitve, da na sodobnem računalniško krmiljenem stroju lahko dela vsakdo (vpenja in izpenja obdelovance ter pritiska na gumbe), so se v praksi slabo izkazale, še posebno tam kjer so CNC - stroje uporabljali v maloserijski ali celo v posamični izdelavi. Delavec, ki ga vključimo v izdelovalni proces, mora imeti ustrezna predznanja, kot so:

- poznavanje osnovnih postopkov obdelave kovin z odrezovanjem (struženje, vrtnenje, freziranje,...) na klasičnih obdelovalnih strojih;
- teoretične osnove rezanja in geometrijske oblike rezalnega orodja;
- osnove tehniškega risanja (podajanje mer v absolutnem in inkrementalnem sistemu...);
- osnove merjenja in kontrole izdelkov in orodij.

Taka predznanja nudijo programi IV. in V. stopnje usmerjenega izobraževanja strojne smeri, oziroma jih imajo kvalificirani delavci in strojni tehniki. Nujno pa je ta osnovna znanja dopolniti z znanji, ki so specifična in potrebna za uspešno delo z CNC - obdelovalnimi stroji.

Izhajajoč iz potreb združenega dela po novem profilu kadrov kovinskopredelovalne stroke, je bila pred usmerjeno izobraževanje postavljena konkretna naloga; z ustreznim učnim programom izšolati potrebne profile:

- **tehnologa - programerja**

(V. stopnja izobraževanja - STROJNI TEHNIK);

- **strežnika CNC - obdelovalnega stroja**

(IV. stopnja izobraževanja - OBLIKOVALEC KOVIN).

"Tehnologa se ne dobi z natečajem" oziroma s šolanjem izven izdelovalnih obratov tovarn /1/. Veliko pa lahko pripomoremo k učinkovitemu pridobivanju določenega predznanja, ki bo omogočalo hitrejše "oblikovanje" tehnologa za delo v konkretnih izdelovalnih pogojih. To je možno doseči le z maksimalnim možnim posnemanjem dejanskih izdelovalnih pogojev v obratih, ne da bi motili redni izdelovalni proces. Posebne učilnice (praktikumi), opremljene s posebnimi didaktičnimi CNC - obdelovalnimi stroji (šolske verzije numerično krmiljenih obdelovalnih strojev), nam to omogočajo. Takšne učilnice, v katerih je ponavadi 4 - 8 učnih mest, predstavljajo integracijo obdelave z odrezovanjem, uporabe numerično in računalniško krmiljenih obdelovalnih strojev, načrtovanja tehnoloških procesov in sodobnih metod poučevanja z uporabo audio-vizuelnih pripomočkov in informatike.

Da bi takšen način izobraževanja zaživel v polni meri in dal najboljše rezultate, je treba izdelati ustrezen **model izobraževanja** z uporabo didaktičnih CNC - strojev. Ta bi bil enoten za vso republiko, z uspešnim dogovarjanjem in usklajevanjem pa lahko tudi za celotno državo. Kot argument k tej trditvi omenimo le, da podobni sistemi izobraževanja na zahodu uspešno delujejo že vrsto let (Enco izobraževalni center Hallein, Salzburg ipd.). Tudi pri nas se v zadnjem času kaže veliko zanimanje za to vrsto izobraževanja. Že omenjenim pionirjem na tem področju, šolskim centrom v Prvomajski in v Ljubljani, so se prav v zadnjih dveh šolskih letih pridružile številne šole, predvsem v Sloveniji in na Hrvaškem, nekoliko manj v drugih delih države. Bolj ko bo to število naraščalo, večja bo potreba po usklajevanju in poenotenju sistema izobraževanja ter učnih programov, če želimo dobiti ustrezno izobražene in "kompatibilne" kadre.

## 2.2. S t r u k t u r a m o d e l a

Model izobraževanja kadrov z uporabo didaktičnih CNC - obdelovalnih strojev smo oblikovali glede na nekatere predhodne izkušnje usposabljanja delavcev DO Lito-stroj, podobno kakor izobražujejo v nekaterih šolah v sosednjih deželah in z upoštevanjem vseh navodil in priporočil izdelovalca didaktične opreme (firma Enco) /3,4/.

Model izobraževanja (sl.1) - celoten izobraževalni program je razdeljen na sedem poglavij. Pri tem prvih šest tvori I. nivo (OSNOVE CNC - KRMILJENJA), sedmo poglavje pa II. nivo (NADALJNJE IZOBRAŽEVANJE NA PRODUKCIJSKIH CNC - STROJIH).

Vsako navedeno poglavje predstavlja sklenjeno celoto, vendar se drugo na drugega navezujejo in je za razumevanje naslednjega nujno potrebno poznati predhodnega. Posamezna poglavja so razdeljena na določeno število podpoglavij, pri tem pa je tematika (snov) znotraj podpoglavja obdelana po modularnem načelu: osnovni modul je 2 šolski uri. Odvisno od tega, kako nadrobno želimo določeno vsebino obdelati, izbiramo potrebno število ur - modulov. Izkazalo se je, da je takšen način oblikovanja učne vsebine zelo fleksibilen. Omogoča hitro prilagajanje tako profilu izobraževanja, kot tudi predznanju učencev v rednem usmerjenem izobraževanju oziroma slušateljev, ki se dopolnilno izobražujejo iz dela. Predvsem za slednje je treba pripraviti preizkusni test, ki naj pokaže kakšno je splošno tehnološko predznanje (katera ustrezna predznanja pričakujemo od kandidatov, pa je bilo že omenjeno v poglavju 2.1!). Za vse tiste, ki tega preizkusa ne opravijo se lahko organizira uvodni seminar, ki je prav tako sestavljen po modularnem načelu.

### 2.3. Možnosti uporabe modela

Model izobraževanja je grajen tako, da je univerzalno uporaben. Enakovredno ga lahko uporabljamo pri rednem usmerjenem izobraževanju učencev IV. in V. stopnje, kot tudi pri dopolnilnem izobraževanju kvalificiranih delavcev in strojnih tehnikov iz dela. Omogoča tudi skrajšano t.i. "informativno izobraževanje", ki je lahko namenjeno učencem različnih programov znotraj usmerjenega izobraževanja, učiteljem praktičnega pouka ipd. Po drugi strani pa lahko skozi informativno izobraževanje popeljemo različne strukture delavcev v delovnih organizacijah, ki za to kažejo določen interes.

Možnosti uporabe modela izobraževanja kaže slika 2. Različnim profilom učencev ali bodočih delavcev (tehnolog - programer, strežnik CNC - stroja, prednastavljalec orodij ipd.), kot tudi slušateljem informativnega programa, se podaja snov enotnega izobraževalnega programa, v različnem obsegu, kot je razvidno iz posameznih inštitucij programov za posamezne profile delavcev (sl. 1 - spodaj!).

S slike 2 je razvidno, da model omogoča poleg osnovnega CNC - izobraževanja (I. nivo) tudi nadaljnje izobraževanje (II. nivo). To poteka za strežnike in tehnologe - programerje na zahtevnejših produkcijskih CNC - obdelovalnih strojih istega proizvajalca (Emco) in so popolnoma kompatibilni s poprej obravnavanimi didaktičnimi CNC - stroji.

ŠT.	POGLAVJE	VSEBINE - URE								Σ ur	
		2	4	6	8	10	12	14	16		
1	UVOD	1. Razvoj CNC-obdelovalnih strojev									1
		2. Osnove delovanja CNC-stroja									1
2	TEHNOLOGIJA IN ORGANIZACIJA	1. Analiza izdelka									1
		2. Vzroki za odstopanje									1
		3. Dodatki za obdelavo									1
		4. Režimi dela									2
		5. Zmogljivost stroja in izkoristek									1
3	ORODJE IN PRIPOMOČKI	1. Vpenjalne naprave									2
		2. Režalna orodja									1
		3. Stega materiala in izdelkov									2
		4. Prednastavljanje orodij									4
4	CNC-STROJI	1. Razdelitev CNC-strojev v skupine									1
		2. Glavni deli CNC-stroja									1
5	ROČNO PROGRAMIRANJE	1. Koordinatni sistemi									2
		2. Izhodiščne točke									1
		3. Izgradba programskega stavka									2
		4. Osnovne programske funkcije									8
		5. Ročno programiranje-vvodne vaje									12
		6. Načrtovanje tehnološkega procesa									8
		7. Praktične vaje na CNC-strojih									16
6	PROGRAMIRANJE Z RAČUNALNIKOM	1. Osnove strojnega programiranja									1
		2. Programiranje oblike obdelovanca									2
		3. Programiranje obdelave									2
		4. Praktične vaje									8
7	PROGRAMIRANJE PRODUKCIJSKIH CNC-STROJEV	1. Nične točke in referenčna točka									2
		2. Programske funkcije									4
		3. Programiranje									10
		4. Nastavitev orodja									2
		5. Praktične vaje									16
									Σ	115	

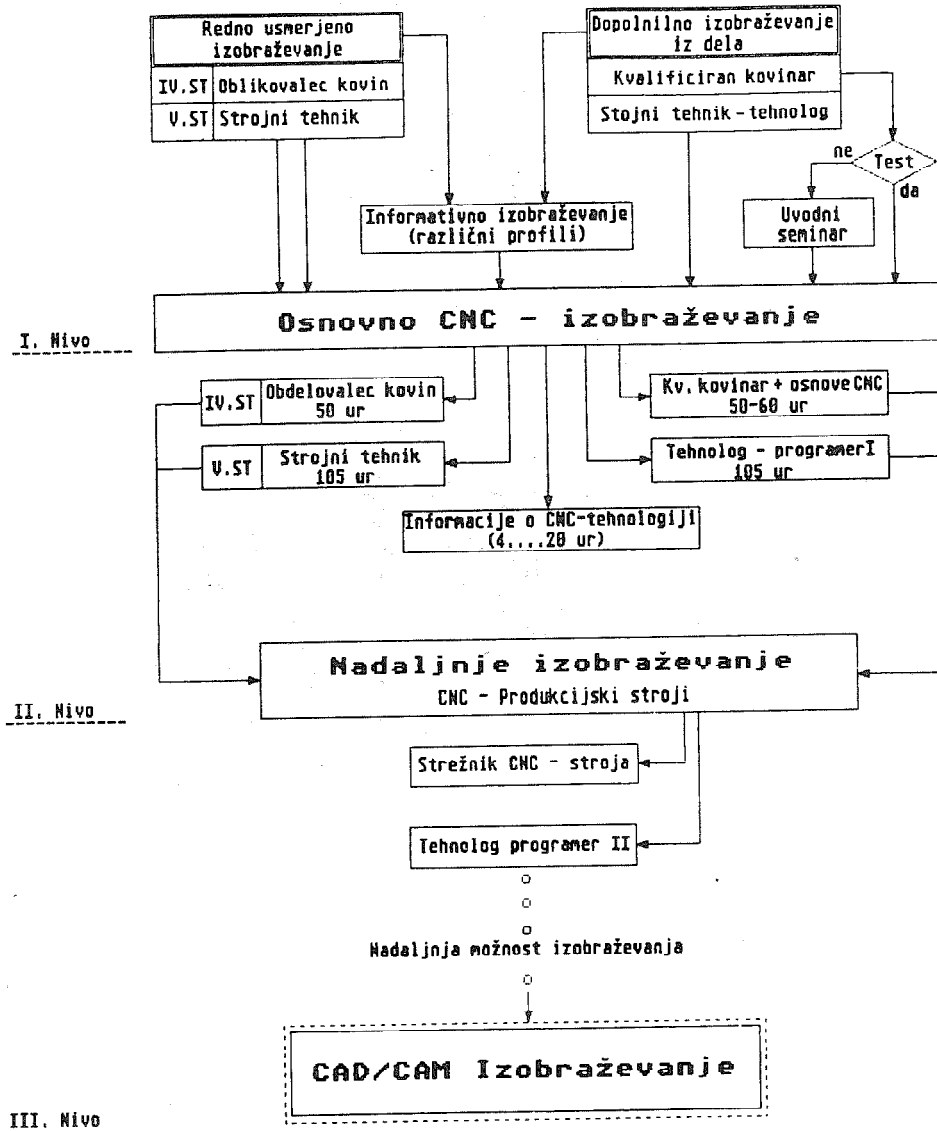
Varianti 1: Profil delavca: **TEHNOLOG-PROGRAMER**

ŠT.	POGLAVJE	URE								Σ ur	
		2	4	6	8	10	12	14	16		
1	UVOD	1									1
		2									1
2	TEHNOLOGIJA IN ORGANIZACIJA	1									1
		2									1
		3									1
		4									2
		5									1
3	ORODJE IN PRIPOMOČKI	1									2
		2									1
		3									2
		4									4
4	CNC-STROJI	1									1
		2									1
5	ROČNO PROGRAMIRANJE	1									2
		2									1
		3									2
		4									8
		5									12
		6									8
		7									16
6	PROGRAMIRANJE Z RAČUNALNIKOM	1									1
		2									2
		3									2
		4									8
7	PROGRAMIRANJE PRODUKCIJSKIH CNC-STROJEV	1									2
		2									4
		3									10
		4									2
		5									16
									Σ	115	

Varianti 2: Profil delavca: **STRUŽNIK**

ŠT.	POGLAVJE	URE								Σ ur	
		2	4	6	8	10	12	14	16		
1	UVOD	1									1
		2									1
2	TEHNOLOGIJA IN ORGANIZACIJA	1									1
		2									1
		3									1
		4									2
		5									1
3	ORODJE IN PRIPOMOČKI	1									2
		2									1
		3									2
		4									4
4	CNC-STROJI	1									1
		2									1
5	ROČNO PROGRAMIRANJE	1									2
		2									1
		3									2
		4									8
		5									12
		6									8
		7									16
6	PROGRAMIRANJE Z RAČUNALNIKOM	1									1
		2									2
		3									2
		4									8
7	PROGRAMIRANJE PRODUKCIJSKIH CNC-STROJEV	1									2
		2									4
		3									10
		4									2
		5									16
									Σ	115	

Sl. 1. Struktura modela izobraževanja.



Sl. 2. Možnosti uporabe modela izobraževanja.

In končno: model izobraževanja z uporabo didaktičnih in produkcijskih CNC - strojev daje zadosten vpogled v problematiko ter možnosti reševanja konkretnih nalog tehnologije obdelave na sodoben način in z uporabo sodobnih računalniško krmiljenih obdelovalnih strojev.

Nadaljnje možnosti izobraževanja, ki presegajo vsebino in namen pričujočega modela - so pa njegova nadgradnja - so možnosti integriranega CAD/CAM izobraževanja z uporabo EMCODRAFT CAD/CAM sistema. Ta sodobni didaktični sistem, za fleksibilne izdelovalne sisteme jutrišnjega dne, sestavljajo IBM - PC računalnik (družine XT ali AT) z ustrežno periferijo in vsemi poprej omenjenimi didaktičnimi in produkcijskimi CNC - stroji z ustreznim krmiljem. S tem je dosežena maksimalna možna komprimiranost opreme, kot tudi znanja, ki so ga učenci (sluša-telji) pridobili tekom osnovnega in nadaljnjega CNC - izobraževanja po predlože-nem modelu.

#### 2.4. P r e d n o s t i i z o b r a ž e v a n j a

Didaktični stroji, s katerimi so opremljene specializirane učilnice, so majhni, namizne izvedbe. Tudi pogonska moč je majhna (oca 1 kW), vendar je možna obde-lava kovin (predvsem aluminija) s pravim, čeprav miniaturnim, orodjem.

Cena didaktičnega stroja je 10 - 15 krat manjša v primerjavi s produkcijskim NC - obdelovalnim strojem. Poleg tega so didaktični stroji izredno varni in se jih učenci - začetniki ne bojijo.

Velika prednost je tudi v tem, da lahko izdelani program za numerično krmiljenje na didaktičnem stroju testiramo s posebnim pisalom in pisalnikom. Na ta način lahko sproti popravljamo napake, ki so, posebno v začetku zelo pogoste.

Z izobraževanjem v specializiranih učilnicah se skrajša čas izobraževanja delav-cev za polovico v primerjavi z individualnim načinom. Pri tem je treba seveda pripomniti, da izobraževanje poteka ob delu, v popoldanskem času in je delovni proces v obratu nekoliko moten samo v času dopolnilne specializacije za določen stroj, ki traja 3 - 4 dni. Cena izobraževanja v specializiranih učilnicah je primerljiva samo za delavce v delovnem razmerju in je kar za 35 - 38 % nižja od cene individualnega izobraževanja na produkcijskih strojih v tovarnah /5/.



## 3. SKLEPNE UGOTOVITVE

Testiranje modela izobraževanja na SŠTS Franca Leskoška - Luke v Ljubljani v preteklih dveh šolskih letih je dalo pozitivne rezultate. Izkazalo se je, da je bilo oblikovanje izobraževalnega modela pravilno. Učenci, ki so opravljali delovno prakso v DO Litostroj, so se hitro vključili v delo na posameznih delovnih mestih in pod nadzorstvom mentorja tudi opravljali razna manj zahtevna opravila na CNC - obdelovalnih strojih oziroma v tehnologiji. Predvsem razveseljuje ugotovitev, da so bili ti učenci (strežniki in programerji) pripravljeni razmišljati o izpopolnjevanju izdelovalnega procesa, čeprav je bilo zelo opazno pomanjkanje izkušenj. In ravno navajanje k **samosojnemu razmišljanju** in medsebojni **izmenjavi izkušenj** mora biti osnovna naloga izobraževanja za sodobne izdelovalne procese tudi v bodoče.

## L i t e r a t u r a

- /1/ Cvjetičanin, M.: Obrazovanje kadrova metaloprerađivačke struke u obradi odvajanjem čestica, Strojnarstvo 28(1986) 5, str. 353 ... 358.
- /2/ Janežič, A.: Model izobraževanja kadrov za delo na računalniško krmiljenih obdelovalnih strojih z uporabo didaktičnih CNC - strojev, Diplomaska naloga VIŠ.študija, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, 1987.
- /3/ x x x : EMCO COMPACT 5 CNC, EMCO F1-CNC, EMCOTURN 220, EMCO F3 CNC... prospektno gradivo.
- /4/ x x x : Emco CNC-AUSBILDUNG: Drehen, Fräsen, FFS, CAD/CAM, Trainer, učno gradivo firme EMCO MAIER & CO., A-5400 Hallein, Avstrija.
- /5/ Janežič, A.: Izobraževanje delavcev za delo na računalniško krmiljenih obdelovalnih strojih, Seminarska naloga, Fak. za strojništvo v Ljubljani, 1987.

M. Soković, A. Janežič

**TRAINING MODEL FOR THE WORK ON CNC-MACHINE SUPPORTED BY SPECIAL DIDACTIC CNC-MACHINES**

A model of training on didactic CNC-machines equipped with computers is a novelty in our country which should essentially contribute to the improvement of the quality of training in secondary technical schools. The concept of the model is such that it also enables advanced training or retraining of workers for the following jobs: technologist-programmer, CNC-operator and tool-presetting. The training courses are organized in extra time and do not disturb the working process. Therefore the costs of training are considerable lower.

A. Kokotovic\*

IZGRADNJA KOMUNIKACIJSKE OSNOVE  
FLEKSIBILNOG PROIZVODNOG SUSTAVA

1. UVOD

Fleksibilni proizvodni sustav (FPS), koji sadrži razine najviše automatizacije proizvodnog procesa, logičan je rezultat uvođenja i primjene računalske tehnike u proizvodnju. Posljedica toga je automatizirana izvedba raznih varijanti proizvoda, mogućnost stalnog optimiranja toka proizvodnog procesa, kao i planiranje slijedecih akcija. Tu su uključeni zadaci kao: upravljanje protokom materijala i operacijama obrade, koordinacija i alokacija materijala, alata i strojeva, transport, testiranje... Razumljivo je, da je ovako složen zadatak morao biti razdijeljen na više hijerarhijski strukturiranih razina upravljanja i nadgledanja proizvodnog procesa<sup>(1)</sup>.

Ta distribuiranost funkcija nužno uvjetuje postojanje komunikacije među elementima FPS-a, a implementiranje otvorene lokalne računalske mreže nameće se kao najbolje rjesenje problema razmjene podataka između nadglednih računala i kontrolnih sustava različitih proizvođača<sup>(2)</sup>.

2. HIJERARHIJA NADGLEDANJA, STRUKTURA I ZADATAK MREZE

Kao što je na slici\_1 prikazano, proces upravljanja i nadgledanja proizvodnog procesa se može podijeliti na razine.

Najniži sloj, prikazan na slici\_1, čine sami uređaji na kojima se odvija proizvodnja ( alatni strojevi, transportni sustav, odlagališta obradaka... ).

Slijedeći sloj je ujedno i prva upravljačka razina, koju čine upravljačke jedinice za alatne strojeve, transportna sredstva, robotske ruke i sl.

Iznad toga nalazi se razina nadzora proizvodnog procesa, koju čini nadgledno računalo, čija je uloga upravljanje, optimiranje, koordinacija i nadgledanje proizvodnog procesa, raspoređivanje poslova upravljačkim jedinicama, te poduzimanje akcija na temelju primljenih informacija o stanju proizvodnog procesa.

Najviša razina ove hijerarhije bavi se nadgledanjem na razini cijelokupne tvornice, tj. planiranjem poslova, kapaciteta, skladistenja, nabave materijala, statističkim izvještajima o ukupnoj proizvodnji, kao i ostalim poslovima vezanim uz proizvodnju.

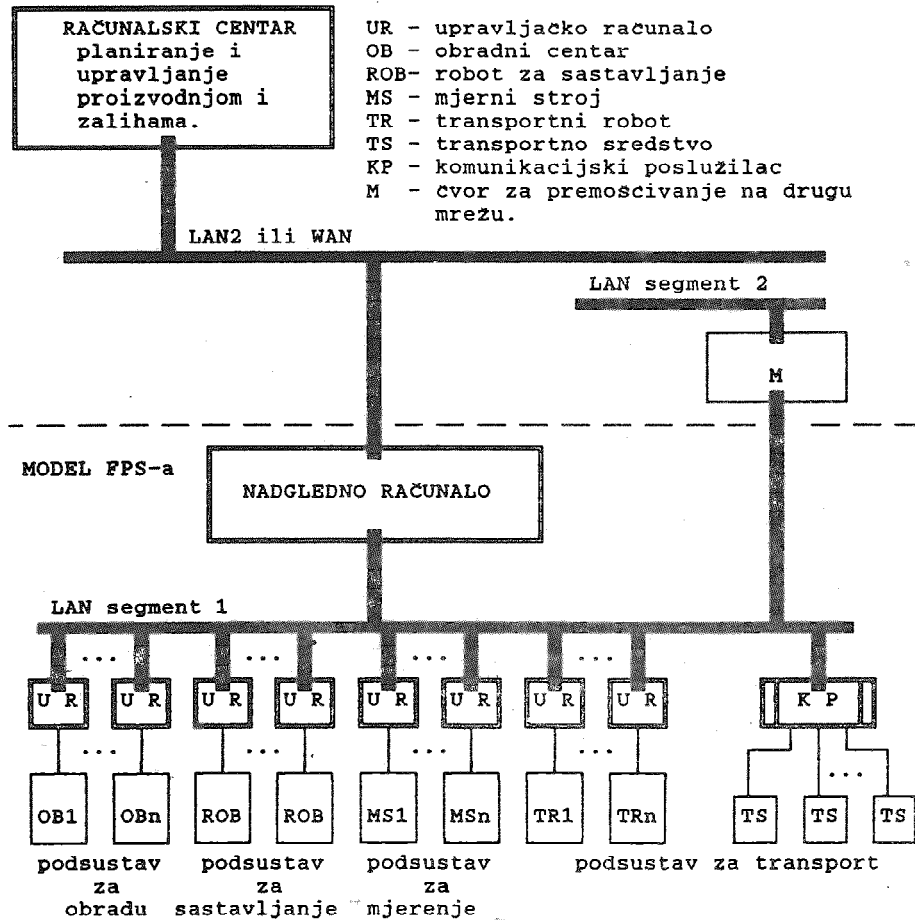
---

\* / Andrea Kokotovic, dipl. ing., suradnik Laboratorija za tehnicku kibernetiku, PRVOMAJSKA, RO IRI, Zagreb, Žitnjak bb

Za funkcioniranje FPS-a mora postojati razmjena informacija između nadgledanih elemenata FPS-a i nadglednih računala.

Promet podataka koji se odvija između pojedinih razina je različit i to s obzirom na:

- zahtjeve za stvarnim vremenom - stroži su što je razina niža, a blaži što je razina viša.
- veličinu i učestalost razmjene poruka. Kao u pravilu, podaci koje razmjenjuju niže razine kraći su i češći, dok je na višim razinama promet rjeđi, ali poruke su duže.



slika\_1.

Rjesenje komunikacijskog problema mora zadovoljavati uvjete koji su postavljeni:

- garantirani, brzi i pouzdani prijenos poruke u zahtijevanom vremenu;
- relativno neograničen broj elemenata FPS-a raznih proizvođača;
- jednostavnost rekonfiguracije sustava.

Zbog svih ovih razloga, implementacija standardizirane lokalne računalske mreže čini se pravim rješenjem. Na taj način omogućuje se ravnopravnost u komunikacijskom smislu svih povezanih sudionika (čvorova) u mreži, mada hijerarhijski odnos elemenata FPS-a (nadgledani-nadgledni) sugerira rješavanje problema komunikacije vezom točka-točka (point-to-point) i prozivanjem. Također, lokalne računalske mreže osiguravaju brzine prijenosa reda veličine Mb/s na više, zatim dinamičko mijenjanje strukture mreže, tj. uključivanje i isključivanje sudionika iz mreže.

Važnost standardnog pristupa implementaciji je u otvorenosti takve mreže, što omogućuje uključivanje proizvođača različitih proizvođača u jedinstveni FPS. Jedan takav standard je Manufacturing Automation Protocol (MAP), preporučan za industrijske primjene<sup>(3,4)</sup>. MAP arhitektura mreže temelji se na 7-slojnom, ISO OSI referentnom modelu mrežne arhitekture. Važno je napomenuti da MAP uključuje 802.4 standard, koji onemogućuje sukobe na liniji pri razmjeni poruka. To je regulirano odabirom načina pristupanja mediju, tj. slobodi slanja, koja je dana u jednom trenutku samo jednom čvoru mreže, dok ostali "slušaju". Po završenom slanju jedan čvor "dodjeli" mrežu drugom, koji sad može obaviti odaslanje svojih poruka, i tako redom.

### 3. MODEL FPS-a

Prvi korak prema eventualnoj, cjelovito automatiziranoj tvornici je izgradnja jednog modela, koji bi sadržavao sve nužne elemente FPS-a. Takav model FPS-a, čiju komunikacijsku osnovu treba riješiti, dio je slike\_1. Neke osnovne zadatke koje bi trebali obavljati njegovi elementi možemo podijeliti na:

- zadaci upravljačkih računala (CNC):
  - upravljanje operacijama;
  - upravljanje alatima;
  - upravljanje automatskom izmjenom alata;
  - nadgledanje trajanja života alata;
  - slanje kontrolnih signala i dijagnostike;
  - prijem i predaja radnih programa i sl.
- zadatak transportnog nadgledanja:
  - prijem naredbi od nadglednog računala;
  - izvršenje tih naredbi;
  - slanje potvrde po izvršenju.
- upravljačke funkcije nadglednog računala:
  - off-line planiranje redoslijeda i korištenja proizvodnih sredstava;
  - na temelju primljenih informacija o stanju sistema:
    - priprema i slanje instrukcija u pripreme stanice;
    - priprema i slanje instrukcija transportnom sustavu;
    - slanje radnih programa;
    - slanje podataka o alatima;

- slanje podataka za odlagalista (palete) i sl.
- nadzorne funkcije nadglednog računala:
- nadgledanje proizvodnog programa, proizvedenih količina i raspoređivanje poslova;
- nadgledanje proizvodnog sustava, strojeva i transportnog sustava;
- nadgledanje alata, upotrebe i vijeka trajanja;
- prijem i priprema podataka o proizvodnji: statusne poruke, informativni izvještaji i sl.

U realizaciji komunikacijskog podsustava za ovakav model FPS-a nastojala se postići što veća MAP kompatibilnost po svim slojevima OSI mrežnog modela. No, zbog, uvjetno rečeno, "sporosti" i složenosti takvog 7-slojnog modela i redundantnosti nekih slojeva mreže, za našu primjenu, prislo se implementaciji MiniMAP arhitekture na upravljačka računala MINA, koja uključuje samo tri sloja mrežne arhitekture, i koja je odobrena standardom MAP V3.0, kao mogućnost za izgradnju komunikacijske osnove u specifičnim slučajevima.

Razlozi ugradnje ove arhitekture u naša upravljačka računala mogu se ovako objasniti.

Specifikacija MAP-a je originalno zamišljena kao sredstvo, koje računalima u industriji omogućuje komunikaciju bez obzira na operacijski sustav ili proizvođača, što je i dalje najvažniji cilj i briga MAP-a. No, kako je ovaj standard rastao uvidjela se potreba za izdvajanjem podskupa MAP usluga čime se, doduse, žrtvuju neke funkcije ali se zato dobiva na brzini razmjene poruka-odgovor. Tako se performanse "potpunog" MAP čvora mogu poboljšati izbjegavanjem nekih slojeva za primjene, za koje je vrijeme odziva kritično. Takva dvojna arhitektura, nazvana Manufacturing Automation Protocol/Enhanced Performance Architecture (MAP/EPA), prikazana je na slici 2, gdje je vidljivo da je EPA strana namijenjena samo za aplikaciju razmjene poruka po Manufacturing Message Standard-u (MMS), i to onog dijela poruka koje zahtijevaju brzu reakciju. Čvorovi koji uključuju samo EPA stranu prikazane arhitekture, nazivaju se MiniMAP čvorovima.

Prikazani model FPS-a čine podgrupe kao što su upravljačke jedinice, roboti, transportni sustav, mjerni sustav, skupljeni zajedno sa nadglednim računalom u cilju izrade nekog proizvoda, bez ili sa neznatnim ljudskim intervencijama. Za distribuiranje poslova potrebna je mreža, koja je relativno jednostavna i upotrebljiva za razne uređaje. Također, mreža bi trebala zadovoljavati uvjete jednostavne rekonfiguracije, proširivanja i modificiranja s obzirom na zahtjeve proizvodnog programa. Najviše prometa podataka odvija se unutar samog modela. Eventualno, jedino nadgledno računalo može komunicirati sa vanjskim ili sebi visim nadglednim sistemom, izvan ovog osnovnog FPS-a, ako on postoji.

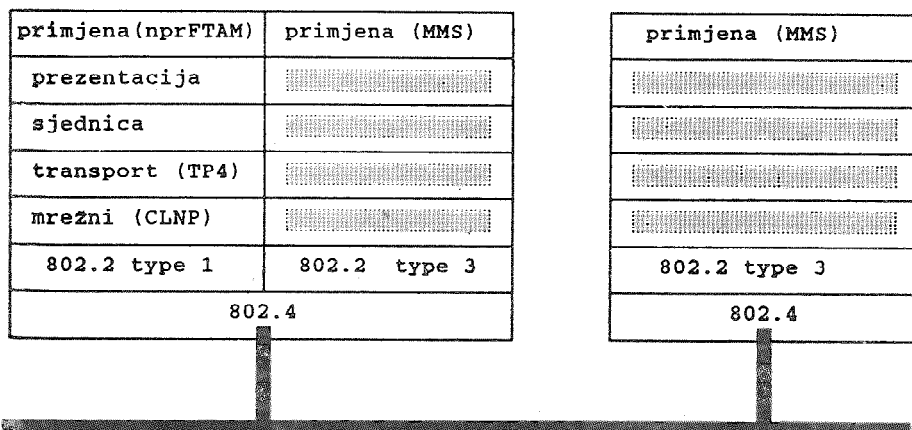
Dakle, kako u ovom stupnju razvoja, nije predviđeno ostvarivanje komunikacije sa vanjskim uređajima, bilo drugim mrežama ili nadglednim računalima više razine, neki slojevi mrežne arhitekture (transport i mrežni sloj) mogu biti izostavljeni. Također se sloj konverzije poruka (prezentacija) može zanemariti, jer se podrazumijeva da svi elementi modela FPS-a postuju isti standard kodiranja poruke. Preostali slojevi čine EPA stranu MAP/EPA arhitekture, tj. ugrađeni bez punog MAP-a, čine MiniMAP

cvor. Prihvatanjem troslojne arhitekture, znatno se skracuje i vrijeme izrade programske podrške za mrežu kojom je moguće komunicirati, dok se nadopune ostalih slojeva mogu vršiti naknadno, tj. postepeno.

Ovakva mreža se može povezivati sa pravom MAP mrežom samo preko nadglednog računala, koje ima dvojnu MAP/EPA arhitekturu. No to je, konačno, i logično, jer upravljačko računalo neće nikad komunicirati direktno sa uređajima izvan svoje mreže, već će sve potrebne poruke slati neposrednom nadglednom računalu. Na slici\_2 prikazana je arhitektura mreže, tj. slojevi uključeni u nadgledno računalo i upravljačke jedinice.

MAP/EPA ARHITEKTURA  
NADGLEDNOG RAČUNALA

MiniMAP ARHITEKTURA  
UPRAVLJAČKOG RAČUNALA



slika\_2.

#### 4. ZAKLJUČAK

Zbog distribuiranosti funkcija upravljanja i nadgledanja, postojanje komunikacije je nužan preduvjet za funkcioniranje cjelokupnog FPS-a. Implementacija standardne lokalne računalske mreže zadovoljava sve zahtjeve postavljene na rješenje komunikacije. MAP protokol, preporučen za primjenu u industrijskim uvjetima, dozvoljava implementaciju dvojne MAP/EPA arhitekture koja, osim punog 7-slojnog modela, sadrži i 3-slojnu arhitekturu kojom su poboljšane performanse MAP-a za neke primjene, gdje je vrijeme odziva kritično. Izgradnja 3-slojne arhitekture (MiniMAP) cilj je prve faze razvoja mrežnih mogućnosti upravljačkog računala MNA, dok je nadogradnju ostalih slojeva do pune MAP kompatibilnosti, moguće izvesti naknadno.

## Reference:

- (1) Dubravic S., Radej J.: "Koncept umrežavanja kod distribuiranog upravljanja fleksibilnim proizvodnim sustavom", Zbornik simpozija "Kompjuter na sveučilistu", 1988.
- (2) Kokotovic A., Radej J.: "Upravljacko racunalo u lokalnoj racunalskoj mrezi fleksibilnog proizvodnog sustava", Zbornik BIAM, 1988.
- (3) Jones V. C.: "MAP/TOP Networking", McGraw-Hill 1987.
- (4) Dokumentacija MAP 3.0 Impementation Release, 1987.

A. Kokotovic

DESIGN OF THE COMMUNICATION BASIS  
FOR THE FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM

Summary

This paper deals with the problem of communication design, which is the basic prerequisite for the functioning of the Flexible Manufacturing System (FMS). The implementation of the Local Area Network (LAN) with the standardized network architecture fulfils all the requirements, set on such a connection. Manufacturing Automation Protocol (MAP) is the recommended standard for industrial networks.

The concept of the upgrading of the CNC unit, developed in our laboratory, with the networking possibilities, is also described here. The layered architecture enables successive access to implementation of networking software and hardware. The aim of the first phase is the 3-layered MiniMAP architecture, allowed by MAP standard (MAP/EPA), which can afterwards be extended with other missing layers, until not fully MAP compatible.

J. Radej, B. Balon \*

SUVREMENI KONCEPT IZGRADNJE  
UPRAVLJACKIH RACUNALA

1. UVOD

Sadasnja razina tehnoloskog razvoja u razvijenom svijetu, koja se zasniva na sve vecim razinama integracije elektronicnih elemenata i razvoju racunalskih tehnika, ima za posljedicu proizvodnju racunalskih sustava koji sa stanovista upotrebe predstavljaju novi kvalitet. Taj novi kvalitet se ogleda kako u razvojnim postupcima, tako i u povecanoj pouzdanosti, radnim mogucnostima i operabilnosti gotovih uredaja.

U skladu s time rastu i nase potrebe za razvojem i primjenom moderne tehnologije u upravljackim sustavima, koji u sve vecoj mjeri determiniraju kvalitet i funkcionalne mogucnosti nasih proizvoda.

2. SADASNJE RAZVOJNE PODLOGE

Postojeci razvoj upravljackih racunala zasnovan na vlastitom razvoju koncepcijski je bio utemeljen na tehnoloskim dosezima s pocetka 80-tih godina. On je podrazumijevao projektiranje sklopovlja na principu modularne gradnje, njegovu cjelovitu izradu do razine industrijske finalizacije, kao i cjelokupnu izvedbu programske opreme s opce-racunalskim i specificno-namjenskim cjelinama. Postojeci koncept po svojim mogucnostima trebao bi kulminirati s razvojno-istrazivackim projektom poznatim pod nazivom MINA-3, koji je pred finalizacijom i koji bi kroz svoje derivate postupno omogucio solidnu upravljacku razinu za glodalice/busilice i tokarilice «1» «5». Istovremeno on predstavlja bazu za razvoj i primjenu lokalne racunalske mreze, sto je prvi preduvjet za vlastiti razvoj upravljanja fleksibilnim proizvodnim sustavima. S druge strane ovaj koncept razvoja racunala ne pruza dovoljnu podlogu za razvoj upravljackih sustava za prostorne mehanizme s kinematskim ulancavanjem.

Projektom MINA-3 prevladana su ogranicenja ranijeg projektnog rjesenja MINA-2, koja su se prvenstveno manifestirala u pomanjkanju naslovljivog memorijskog prostora, sto je opet

\*/ mr Josko Radej, dipl.ing., voditelj Laboratorija za tehnicku kibernetiku, RO IRI, Prvomajska, Zagreb, Zitnjak bb

Branko Balon, dipl.ing., suradnik Laboratorija za tehnicku kibernetiku, RO IRI, Prvomajska, Zagreb, Zitnjak bb



imalo za posljedicu nemoćnost nadogradnje novim upravljačkim funkcijama, većim brojem memorijski pohranjenih radnih programa i ograničenja u priključenju većeg broja perifernih jedinica.

Koristeći ranije konceptijske podloge u sklopovskoj i programskoj arhitekturi računala, u projektu MINA-3 primjenjuju se računalske metode stranicenja virtuelnog memorijskog prostora, što s jedne strane omogućuje povećanje memorijskog kapaciteta i otklanja ranije spomenute nedostatke, dok s druge strane uzrokuje znatne teškoće u razvojnim radovima, jer se postojeća razvojna instrumentacija ne pokazuje primjerena za ovakvu vrstu rada. Iz empirijskih saznanja također su sve prisutniji problemi vezani uz brzinu rada upravljačkog računala koja je limitirana tehnološkim razlozima.

Koncepcija vlastitog razvoja sklopovske opreme i njenog finalnog rješenja u domaćoj industrijskoj izvedbi pokazuje određene nedostatke. Ti nedostaci se s jedne strane manifestiraju u enormnom utrosku vremena u industrijskoj realizaciji (izrada stampanih pločica, nabavka repromaterijala) upravljačkog računala, a s druge strane u kvaliteti koja rezultira smanjenom pouzdanosću u industrijskoj primjeni (kvalitet repromaterijala). Na žalost na te nedostatke je najteže utjecati, jer su prvenstveno rezultat općeg stanja okoline.

### 3. NOVE RAZVOJNE PODLOGE I OPREDJELJENJA

Postojeća razina tehnološkog razvoja u svijetu, koja i za nas postaje tržišno dostupna, zasniva se na visim razinama integracije, na dobavlјivosti razvijenih programskih rješenja na osnovnim razinama, kao i na profesionalnoj izvedbi sklopovskih modula i sustava namijenjenih za OEM (original equipment manufacturer) proizvođače. To omogućuje korištenje razvijenih i realiziranih znanja specijaliziranih proizvođača kao osnove za gradnju složenih specifično namjenskih računalskih sustava. Na taj način stvaraju se preduvjeti za razvoj proizvoda veće funkcionalnosti s karakteristikama koje se dosada nisu mogle realizirati, uz već ranije spomenuto: veću pouzdanost proizvoda i uštedu u vremenu razvoja novih uređaja.

Daljnje opredjeljenje u skladu s navedenom koncepcijom razvoja je izbor sabirničkog sustava na osnovi VME arhitekture. Neki od osnovnih razloga za to je činjenica da je taj sustav nastao i potvrdio se kao industrijski standard, da je podržan od velikog broja značajnih proizvođača (preko 200 međunarodno afirmiranih proizvodnih organizacija), da se njegovo tržište siri iz dana u dan, a njegove norme su pod kontrolom IEEE i IEC komiteta. Kao industrijski standard odlikuje se velikom pouzdanosću. Slijedeći razlog za to je i taj, što se domaća elektronička industrija uključuje u proizvodnju modula na bazi tog standarda.

### 4. SUVREMENE METODE I PRISTUPI

Upravljačko računalo alatnog stroja spada u klasu ugrađenih računala (engl. embedded systems) koja u posljednje

vrijeme dozivljavaju naglu ekspanziju u pogledu kakarakteristika, brzina i mogućnosti. Cijena prelaska na ovu novu generaciju upravljačkih računala je povećana složenost kako sklopovske opreme (hardware) tako i programske opreme (software), što stvara bitne promjene u načinu na koji se do sada razvijalo takvo računalo.

Novi 32-bitni procesori koji se upotrebljavaju u suvremenim ugrađenim računalima imaju brzinu miniračunala i ogroman memorijski naslovljiv prostor, što donosi najmanje tri važne prednosti :

1. velika brzina procesora omogućava kontrolne algoritme koji ranije nisu bili izvedivi u stvarnom vremenu
2. veliki naslovljiv prostor omogućava ugradnju većeg broja funkcija, te proširenje mogućnosti upravljačkog računala
3. arhitektura procesora prilagođena je i omogućava efikasnu primjenu visih programskih jezika (npr. C-a) čak i u vremenski kritičnim odsječcima

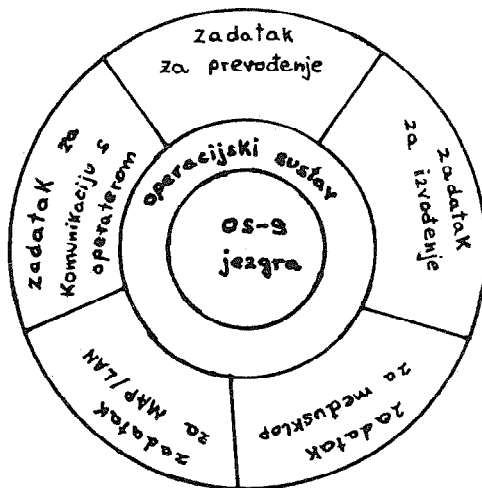
Također važan pristup u izgradnji programske podrške za složeni sustav za rad u stvarnom vremenu upravljačkog računala je hijerarhijska dekompozicija sustava u manje cjeline. Da bi se savladala kompleksnost programske podrške složeni sustav se dijeli na nezavisne funkcionalne cjeline - zadatke, koji se mogu zasebno stvarati, kodirati i ispitivati. Ideja o stvaranju nezavisnih zadataka može se i dalje proširivati. Naime, svaki zadatak mogao bi se izvršavati na posebnom procesoru, tako da dolazimo do multiprocesorskih arhitektura koje opet unose dodatnu složenost kako na sklopovsku tako i na programsku opremu. Možemo reci da već sama sklopovska oprema modernog upravljačkog računala zahtjeva modularno građenu programsku opremu.

Osnova ovako složenog programskog sustava je operacijski sustav za rad u stvarnom vremenu. Osnovno pitanje koje se postavlja kod operacijskog sustava je da li razvijati vlastiti tzv. "krojen po mjeri" ili nabaviti standardni operacijski sustav dobavljen od renomiranih proizvođača software-a. U upravljačkom računalu MINA-2 i MINA-3 načinjena je vlastita jezgra operacijskog sustava, te ostali sistemski programi (file manager, editor itd.) koji čine kompletan operacijski sustav ('3' '4' '5'). To je bilo moguće i opravdano dok su kompleksnost sistemskih resursa, broj vanjskih događaja koje treba pratiti, te duljina koda bili relativno mali. Standardni operacijski sustavi imaju niz prednosti pred vlastitim u pogledu održavanja, pouzdanosti te mogućnosti proširenja i nadogradnje. Na novoj sklopovskoj arhitekturi upravljačkog računala, gdje je brzina procesora velika, a cijene memorija sve niže, otpadaju prigovori da standardni operacijski sustavi dodatno opterećuju procesor, te da zauzimaju previše memorijskog prostora. U svakom slučaju razvoj specijalizirane programske opreme za upravljačko računalo pojednostavljuje se i ubrzava upotrebom standardnog operacijskog sustava za rad u stvarnom vremenu. Može se reci da je standardni operacijski sustav u razvoju programske podrške isto što i standardna sabirnica (VME) u razvoju sklopovske opreme upravljačkog računala (slika 1).

Slijedeće pitanje koje se postavlja je odabir standardnog operacijskog sustava. Zahtjevi koji se postavljaju na operacijski sustav upravljačkog računala su slijedeći :

1. mora biti takav da se može bez ikakvih izmjena staviti u ROM.
2. mora imati sve osobine i funkcije operacijskog sustava za rad u stvarnom vremenu i pri tome ne smije zauzimati previše memorijskog prostora.
3. mora imati mogućnost jednostavnog i laganog prilagodavanja novim zahtjevima i proširenjima, ali bez potrebe za ulazak u izvorni kod.

Operacijski sustav OS-9 firme MICROWARE zadovoljava sva tri navedena uvjeta. Projektiran je za najzahtjevnije OEM potrebe i posebno je pisan za porodicu procesora MOTOROLA 68xxx. Jezgra operacijskog sustava pisana je u mnemoničkom kodu (assembleru), dok su ostali sistemski programi pisani u C-u. Osobine i pouzdanost OS-9 dokazane su u nizu primjena - preko 200 VME proizvođača isporučilo je do danas preko 100.000 sistema baziranih na ovom operacijskom sustavu. Sličnost s UNIX operacijskim sustavom omogućava lagan prijenos software-a, pogotovo ako je pisan u C-u. Iskusni korisnici UNIX-a nemaju nikakvih poteškoća u prilagodbi na OS-9, što je naročito važno, jer je UNIX u upotrebi na razvojnom računalu Prvomajskinog Laboratorija za tehničku kibernetiku.

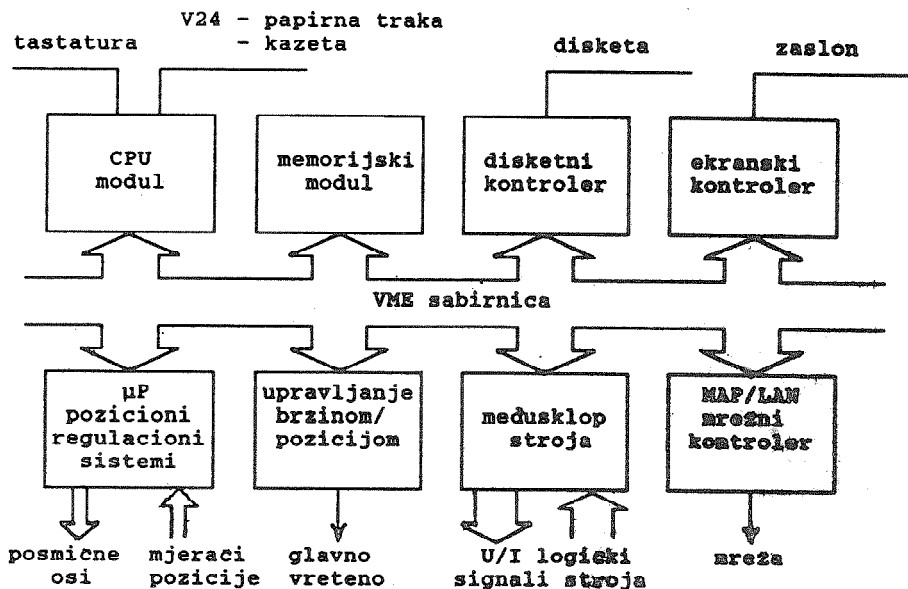


Slika 1. Programska oprema upravljačkog računala organizirana oko jezgre operacijskog sustava za rad u stvarnom vremenu

Jos jedno važno svojstvo OS-9 bilo je bitno pri odabiru operacijskog sustava. OS-9 je pogodan kako za primjene u stvarnom vremenu, tako i za višekorisnicke razvojne sisteme. Ovo svojstvo omogućava jedan novi pristup u razvoju programske opreme za upravljačko računalo. Isti operacijski sustav može se dakle upotrebljavati u razvojnom računalu kao i u upravljačkom računalu koje se razvija. Takav pristup do sada nije bio moguć jer tradicionalni operacijski sustavi nisu bili pogodni za primjene u stvarnom vremenu i obratno. Prednost je očigledna - potrebno je znati samo jedan operacijski sustav, lagan je prijenos programa u upravljačko računalo, integrirana je okolina za ispitivanje te pronalaženje grešaka programske opreme upravljačkog računala.

#### 5. SKLOPOVSKA GRADA UPRAVLJAČOG RAČUNALA

Koncepcija suvremenog upravljačkog računala zasnovana je na modularnom principu. Sklopovska grada je kao i programska oprema prilagođena specifičnim funkcijama koje izvodi upravljačko računalo ( slika 2 ).



Slika 2. modularna sklopovska grada upravljačkog računala

Module upravljackog racunala mozemo funkcionalno podijeliti u dvije osnove grupe :

- opci racunalski moduli koji prvenstveno sluze za komunikaciju sa covjekom
- specijalizirani moduli za numericko upravljanje

## 6. ZAKLJUČAK

Koncept izgradnje suvremenih upravljackih racunala za alatne strojeve sadrzi tri osnovna cilja. Kao prvo, svojom arhitekturom, upravljacka racunala moraju udovoljavati slozenim zahtjevima koji se postavljaju na njihovu funkcionalnost, s obzirom na sve vece zahtjeve automatiziranosti procesa obrade. Drugo, trazi se visoka pouzdanost u radu i to u okolini s vrlo nepovoljnim radnim uvjetima. Trece, mora biti omoguceno relativno jednostavno i pregledno rukovanje kao i dijagnosticiranje stanja sustava.

Na osnovu nekih ranijih vlastitih saznanja u clanku se preporucuju nove razvojne podloge na osnovi VME sabirnicke arhitekture, vece tehnoloske razine integracije te koristenje standardnog operacijskog sustava za rad u stvarnom vremenu. Prikazana je globalna programska i sklopovska građa upravljackog racunala.

## Reference

- (1) Turk S., Budin L., Radej J., Sostaric Z., "Multiprocessor Control Unit for Numerically Controlled Machine Tools", Proceedings of the First International Conference on Computers and Applications, Peking 1984.
- (2) Sostaric Z., ".\* jegra operacijskog sustava za rad u stvarnom vremenu", Zbornik MIPRO-1984.
- (3) Marsic I., Sostaric Z., Radej J., Misljencevic D., Srbljic S., Balon B., "Specijalizirani operacijski sustav za upravljacko racunalo alatnog stroja", Zbornik MIPRO-1985.
- (4) Srbljic S., Radej J., Sostaric Z., "Organizacija programske cjeline za izvođenje u upravljackom racunalu alatnog stroja" Zbornik MIPRO-1985.
- (5) Radej J., "Razvoj upravljackih sustava", Strojarsstvo 28, 1986.
- (6) Balon B., "Upravljanje datotekama u operacijskom sustavu za rad u stvarnom vremenu upravljackog racunala", Zbornik MIPRO-1988.

J. Radej, B. Balon

MODERN CONCEPTS IN CONTROL UNIT DESIGN

S u m m a r y

The design concept of computerized numerically controlled units strives towards three basic goals. Firstly, control unit design architecture must fulfil complex demands related to its functionality, due to the growing requirements in machining automatization. Secondly, strong emphasis should be placed on performance reliability, due to heavy environmental working conditions. Thirdly, operation of the control unit should be simplified and made user friendly as much as possible.

On the basis of some previous experience this paper recommends a new design concept based on the VME bus architecture, technology at an enhanced integration level and use of a standard real-time operation system. A global structure of hardware and software architecture was shown.



---

## 22 ЈУГОСЛОВЕНСКО СОВЕТУВАЊЕ ЗА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

ОХРИД 24 - 26 мај 1989 г.

---

S. Car, R. Vulin, Z. Durasevic \*

OPRAVDANOST PRIMJENE OPTICKIH KABLOVA

U UVJETIMA IZGRADNJE FLEKSIBILNIH SISTEMA

### 1. UVOD

Unutar optičkih elektrokomunikacija kao prijenosno sredstvo koristi se vakuum, atmosfera ili optičke niti, odnosno svjetlovod. Osnovni materijali koji se koriste u svjetlovodu su transparentna plastika ili staklene niti (najčešće silicij-dioksid). Staklene niti se zbog malih gubitaka upotrebljavaju za prijenos podataka na velike udaljenosti, dok se za manje udaljenosti koristi plastika, te staklene niti prevučene plastikom.

Kablovi s optičkim nitima su naročito pogodni za prijenos digitalnih podataka kao što su npr. podaci generirani računalom. Njima se mogu povezati računala i periferne jedinice, te dodatne memorijske jedinice. Kada se oprema spojena takvim kablovima nalazi u jednoj prostoriji, kao što je potrebno u uvjetima

---

\*/ Sanda Car, dipl.inž.elekt., suradnik na razvoju automatizacije, RO IRI, SOUR Prvomajska, Zagreb, Žitnjak b.b.

Rajko Vulin, dipl.inž.elekt., suradnik na razvoju automatizacije, RO IRI, SOUR Prvomajska, Zagreb, Žitnjak b.b.

Zelimir Durasevic, dipl.inž.stroj., rukovodilac odjela za razvoj i primjenu aplikativne programske podrške za FMS, RO Istrazivanje, Razvoj i Informatika, SOUR Prvomajska, Zagreb



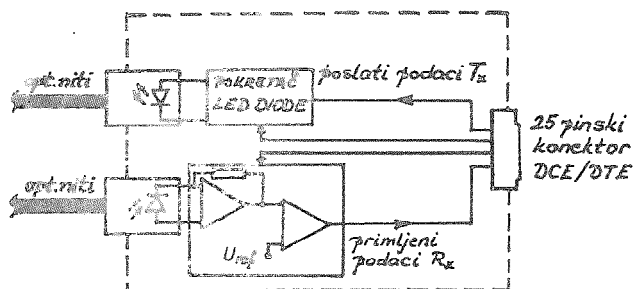
izgradnje fleksibilnog sistema, udaljenosti za prijenos podataka su toliko male da je mogućnost pojavljivanja greški svedena na minimum.

## 2. ODABIR KABLOVA S OPTICKIM VLAKNIMA

Pri izradi optičkog kabla nastoji se izbjeći savijanje niti, koje, iako je skoro neznatno, znatno slabi kvalitetu kabla. Do takvih malih savijanja može doći i kada se gotov kabel pri upotrebi savija ili jednostavno namata na kalem. Osim što su čvrsti i kemijski otporni, kvalitetni kablovi s optičkim nitima su i lagani, mali, fleksibilni, sporo podložni plamenu, otporni na izjedanja i neosjetljivi na temperaturu.

Svjetlost je vođena potpunom refleksijom u jezgri. Zavisno o strukturi, svjetlovodi imaju različite promjene indeksa loma. Strukturalna forma kabla zavisi o: broju niti, čvrstoci pakiranja, položenosti niti, pozicioniranju izolacionih elemenata i elemenata za osiguranje čvrstoće, te o obliku samog kabla.

Za testiranje unutar fleksibilnog sistema odabran je kabel sa staklenim nitima. Niti su obložene plastikom (PCS niti), te imaju veće gubitke ali i veću numeričku aperturu, tj. veću sposobnost skupljanja svjetla. Dugi i veliki komunikacijski sistemi zahtijevaju jednomodne svjetloводе, no u ovom slučaju je dostatan višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma. Stoga što se komunikacije obavljaju na relativno malom prostoru i nisu tako učestale. Za ovakvu primjenu su odgovarajući i svjetlovodi za rad u području kratkih valnih dužina (800-1000 nm), gdje su gubici i rasipanje impulsa dovoljno niski. Kvaliteta ovakvog digitalnog sistema dana je s mjerom bit-grešaka (BER). Ako to, kao u slučaju odabranog svjetlovoda, iznosi  $10^{-9}$ , to znači da je samo 1 bit pogrešno procitan od poslatih milijardu bitova. Kao generator optičkog vala (slika 1), odnosno vala nosioca, koristi se svjetleća (LED) dioda koja po svojim malim dimenzijama odgovara malim promjerima vlakana. Ako se koriste unutar dozvoljenih granica temperature, snage, jakosti i napona struje, LED diode su pouzdane i dugotrajne.



Slika 1. Modul za odaslanje i prijem podataka optičkim nitima

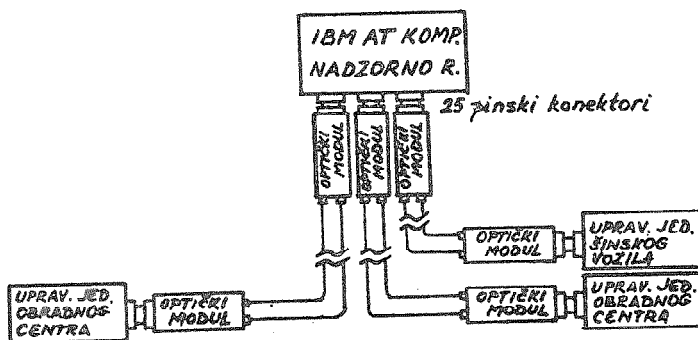
### 3. TESTIRANJE OPTICKIH KABLOVA U UVJETIMA FLEKSIBILNOG SISTEMA

Jednostavni kablovi s dvije niti omogućuju duplex komunikacijsku vezu. Testiranje ovakvih optičkih kablova je izvršeno u fleksibilnom obradnom sistemu. FOS se sastoji od dva obradna centra, transportnog sredstva i nadzornog računala, prikazanih slikom 2.

Cilj ispitivanja bilo je utvrđivanje pouzdanosti, te mogućnost primjene kablova u pogonskim uvjetima, odnosno u uvjetima gdje su značajne smetnje. Brzina prijenosa unutar ovako postavljenog sistema mogla je biti mijenjana od 300 do 9600 bita/sek. Dobiveni rezultati točno određuju u kojim uvjetima, s kakvom pouzdanoscu i financijskim udjelom je primjena optičkih kablova opravdanija od primjene dosada primjenjivanih komunikacijskih kablova.

Maksimalna udaljenost pojedinih upravljačkih jedinica, u testiranom sistemu, iznosila je 20 metara. Na tako malim udaljenostima nisu uočene značajnije prednosti optičkog kabla.

Međutim, povećavanjem udaljenosti na 100 metara, dobivena je kvalitativna razlika oblika i veličine izlazno/ulaznog signala. Razlika u nivou i obliku signala gotovo da nije ovisila o dužini optičkog kabela kao ni o mjestu gdje je postavljen.



Slika 2. Shema optičkih elektrokomunikacija unutar fleksibilnog obradnog sistema FOS-630

Dosada iznesene činjenice potvrđene su i programskim ispitivanjem. Ovo ispitivanje pouzdanosti obavljeno je slanjem i primanjem "poruka" u upravljačke jedinice prema postojećem protokolu. Poruka se sastoji od nekoliko riječi od osam bita, tako da je na temelju poslanog i primljenog broja poruka, te na temelju učestalosti pojavljivanja gresaka, moguće točno odrediti broj gresaka na broj poslanih bitova. Ovaj broj (BER) bio je u specificiranim granicama optičkog kabela,  $10^{-9}$ . Broj pojavljivanja pogresaka poslanih i primljenih poruka trebao je biti ulazni podatak za statističku obradu, koja bi ocijenila nivo pouzdanosti optičkih kablova. Međutim, broj gresaka koji se pojavio je takav da pouzdanost optičkih kablova u ovakvim sistemima i uvjetima je gotovo 100%-tna.

#### 4. ZAKLJUČAK

Jedna od prednosti prijenosa signala optičkim kablovima je neosjetljivost prema elektromagnetskim i elektrostatskim utjecajima koji se vrlo često javljaju u pogonskim uvjetima u kakvima je instaliran fleksibilni sistem. Isto tako je svjetlovod, kao električki izoliran sistem, imun na utjecaj drugih izvora signala, a zbog specifične konstrukcije pojedinih niti unutar kabla ne postoji mogućnost međusobnih utjecaja. Svjetlovod izolira dvije strane koje povezuje tako da one ne trebaju zajedničko uzemljenje. Povrh svega, na svjetlovodu se mogu vršiti popravci čak i kada radi. Loša strana svjetlovoda je da su osjetljivi na zračenja, no unutar fleksibilnog sistema je izloženost zračenju svedena na minimum. Cijena transportiranja i instaliranja kabla s više optičkih niti nije mnogo veća od cijene transportiranja i instaliranja kabla s jednom niti. Isto tako, kabel s više niti je prostorno bolje iskorišten, budući da niti dijele zajedničke elemente za čvrstoću. Prema tome cijena kabla za duplex komunikacijsku vezu nije mnogo veća od cijene kabla za simplex vezu.

Uspoređujući odnos cijene i pouzdanosti koaksijalnog i optičkog kabla, te znajući da je cijena sistema komunikacija mala u odnosu na cijenu cjelokupnog fleksibilnog sistema, postoji potpuna opravdanost primjene optičkih kablova unutar fleksibilnih sistema.

#### Reference

- (1.) Baker, D.G.: Local-Area Networks with Fiber Optic Applications, Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, Inc., 1986.
- (2.) Sandbank, C.P., ed.: Optical Fibre Communications, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1980.

S. Car, R. Vulin, Z. Đurasević

FIBER OPTIC COMMUNICATIONS USAGE JUSTIFIABLENESS  
IN CONDITIONS OF FLEXIBLE SYSTEMS CONSTRUCTION

S u m m a r y

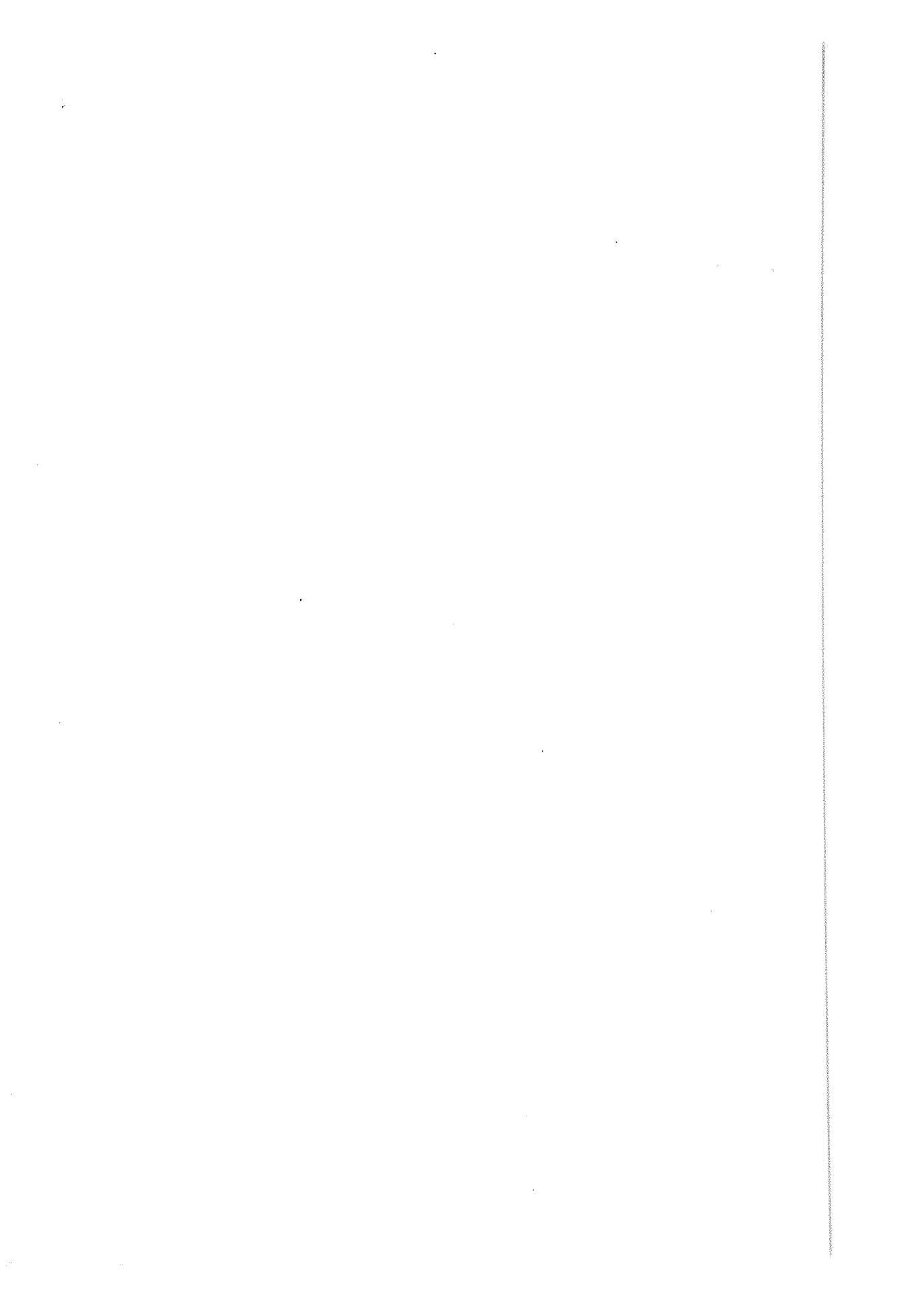
In this work an examination system of data transfer reliability among the system control unit and CNC control units is presented. On the basis of executed examinations the fiber optic communications usage possibilities were tested and economical justifiableness based on informatical reliability of the whole system was discovered.

S. Čar, R. Vulin, Z. Đurasević

## OPRAVDANOST PRIMJENE OPTICKIH KABLOVA

### U UVJETIMA IZGRADNJE FLEKSIBILNIH SISTEMA

U radu je prikazan sistem ispitivanja pouzdanosti prijenosa informacija između nadređenog računala i upravljačkih jedinica pojedinih dijelova sistema. Na osnovi provedenih ispitivanja izvršeno je testiranje mogućnosti primjene optičkih kablova i pronašeno je ekonomske opravdanosti bazirane na informatičkoj pouzdanosti cijelog sistema.



B.Vranješ, B.Jerbić, D.Zubović\*

CLUSTER ALGORITAM ZA STRUKTURIRANJE  
PROIZVODNOG SISTEMA

1. UVOD

Poznato je, i u literaturi na brojnim primjerima dokazano, da se racionalizacija cjelokupnog procesa rada u proizvodnim radnim organizacijama, s maloserijskom i pojedinačnom proizvodnjom može postići primjenom koncepta grupne tehnologije [1,2,3,4].

Suština tog koncepta svodi se na postepeni postupak standardizacije i racionalizacije, koji se osniva na utvrđenoj sličnosti promatranih objekata. Pronalaženje grupe sličnih proizvoda, ugradbenih grupa, dijelova, planova izrade, planova montaže i slično, vrši se s različitim ciljevima. Ciljevi mogu na primjer biti: smanjenje troškova u konstrukciji i/ili pripremi proizvodnje, redukcija pripremno-završnih vremena, smanjenje broja alata i naprava i njihova standardizacija, odredjivanje profila obrade, definiranje proizvodnih struktura čelijskog tipa. Zavisno od postavljenog cilja, ili ciljeva, definiraju se obilježja na osnovu kojih se vrši grupiranje objekata.

U predloženom radu razmotrit će se problem definiranja proizvodnih struktura čelijskog tipa, tzv. izradbenih čelija. Pod izradbenom čelijom podrazumjeva se prostorno i organizaciono zatvorena proizvodna jedinica, sastavljena od različitih sredstava za proizvodnju (strojeva, radnih mjesta), u kojoj se pot-

\*/ Dr Božo Vranješ, dipl.ing., izvanredni profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Dj.Salaja br. 5

Mr. Bojan Jerbić, dipl.ing., znanstveni asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Dj.Salaja br. 5

Dražen Zubović, cand.ing., Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Dj. Salaja br. 5



puno izradjuje grupa tehnološki sličnih dijelova.

Istraživanja provedena u industriji, pokazala su da primjena organizacijske strukture ovog tipa, umjesto strukture grupe po vrsti obrade može polučiti slijedeće efekte: smanjenje ciklusa proizvodnje obrtnih sredstava i zaliha gotovih proizvoda; povećavanje upravljivosti i preglednosti proizvodnog sistema; pojednostavljenje toka materijala i toka informacija, odnosno općenito smanjenje troškova i povećanje produktivnosti rada [5,6, 7,8].

Za pronalaženje tehnološki sličnih dijelova i definiranje izradbenih ćelija za njihovu obradu mogu se primjeniti slijedeći postupci: metode klasifikacije i označavanja, analiza toka materijala i "Cluster" analiza (e. Cluster, skupina ili grupa).

Prikazat će se primjena Cluster analize za rješavanje navedenog problema pomoću programskog sklopa HICL (Hierarhijski Cluster). Budući da u području projektiranja proizvodnih sistema ovaj postupak nije šire primjenjivan,<sup>1)</sup> kratko će ga se opisati.

## 2. OSNOVE CLUSTER ANALIZE

Cluster analiza je matematički postupak za klasifikaciju objekata. Matematičke osnove postupka i neki algoritmi su detaljno opisani u [9,10,11]. U literaturi se ovaj postupak različito označava (Automatska klasifikacija, Strategije grupiranja, Taxonomija, Q-Analiza itd.).

Općenito se problem može definirati na slijedeći način:

Zadan je nehomogeni skup objekata. Objekti su opisani preko vrijednosti odredjenog broja obilježja (varijabli, kriterija). Nehomogeni, zadani skup objekata treba postupkom podijeliti u odredjeni broj homogenih skupina, ako takve postoje, na takav način, da se unutar odredjene skupine osigura što je moguće veća sličnost objekata. Time se pojednostavljuje prikaz strukture zadanog skupa objekata.

Postupak podjele osnovnog skupa u homogene skupine objekata izvršava se prema slijedećem redoslijedu:

<sup>1)</sup> Postupak se intenzivno primjenjuje u medicini, biologiji, kriminologiji, marketingu, obradi podataka i slično.

- definiranje zadatka istraživanja
- izbor objekata i obilježja
- priprema podataka
- definiranje funkcije sličnosti ili funkcije udaljenosti između objekata
- izbor algoritma za grupiranje
- izvođenje postupka
- analiza i interpretacija rezultata.

Podaci se obično pripremaju u obliku matrice  $X_{(m,n)}$  sa vrijednostima  $x_{ij}$   $j$ -tog elementa za  $i$ -to obilježje (ili obrnuto). Vrijednosti mogu pripadati različitim tipovima skale: nominalnoj, ordinalnoj, intervalnoj i apsolutnoj; transformacije podataka više skale na nižu skalu izvode se bez problema, ali se pri tome odričemo dijela informacija, obrnuta transformacija je moguća samo uz pomoć dodatnih informacija.

Oblikovanje skupina vrši se dodjeljivanjem međusobno sličnih objekata. U tu svrhu potrebno je kvantificirati sličnost, odnosno udaljenost objekata.

Pri tome su sličnost odnosno udaljenost međusobno inverzni pojmovi, i mogu se pretvarati jedan u drugi, a izražavaju se kao funkcija obilježja promatranih objekata. Kvantifikacija udaljenosti dvaju objekata vrši se na osnovu pripremljenih podataka i prema problemu odabrane ili definirane funkcije udaljenosti. U literaturi se mogu pronaći različite funkcije udaljenosti [9,10]. Proračunate udaljenosti između objekata unose se u trokutnu ili simetričnu matricu udaljenosti.

Za oblikovanje skupina sličnih objekata razvijeni su različiti algoritmi. Oni se mogu sistematizirati u dva osnovna tipa: nehijerarhijske i hijerarhijske.

Nehijerarhijski algoritmi rezultiraju međusobno nepovezanim skupinama sličnih objekata. U suštini to predstavlja razlaganje osnovnog skupa u određeni unaprijed definirani broj podskupova (skupina). Dobivena rješenja mogu se iterativno poboljšavati, na primjer postupkom pomicanja objekta iz jedne u neku drugu skupinu ako se pri tome smanjuje vrijednost definirane funkcije cilja.

Hijerarhijski se postupci mogu podijeliti na postupke grupiranja i postupke dijeljenja. Kod ove grupe postupaka, obliko-

vanje skupine sličnih objekata vrši se na osnovu porasta ili pada nivoa vrijednosti udaljenosti odnosno sličnosti. Dobiva se, dakle, određena hijerarhija. Kod postupka grupiranja (aglomeracije) polazi se od najfinije podjele, to jest od pojedinačnih objekata koji se postepeno grupiraju u sve veće skupine, da bi na koncu tvorili samo jedan skup objekata. Iz opisa je očigledno da se "pogrubljuje" struktura skupa objekata. Kod postupaka dijeljenja postupa se obrnuto. Skup objekata se razlaže u dva podskupa, svaki od podskupova se dalje razlaže na dva dijela sve dok se ne dodje do pojedinačnih objekata. Rezultat je opet hijerarhijska struktura objekata. U ovom radu koristit će se hijerarhijski aglomerativni Cluster algoritam, pa se daljnji opis odnosi na ovu grupu postupaka.

Matrica udaljenosti objekata predstavlja osnovu za oblikovanje skupina. Postupak se odvija na slijedeći način: kod svakog izvođenja algoritma odabire se onaj par objekata između kojih je najmanja udaljenost; odabrani par objekata čini skupinu; udaljenost između ove skupine i preostalih objekata odnosno skupina ponovo se proračunava; kod svakog spajanja redefiniiraju se podaci u matrici udaljenosti i njezin rang se reducira za jedan. Ovaj postupak se ponavlja  $(n-1)$  puta ( $n$  je broj objekata). Proračun udaljenosti između skupne može se izvršiti sa različitim strategijama:<sup>2)</sup> najbliži objekt (Single-Linkage), najudaljeniji susjed (Complete-Linkage), srednja vrijednost (Average-Linkage), ponderirana srednja vrijednost (Weighted Average-Linkage), median, centroid, postupak po Wardu i fleksibilna strategija (Flexible Strategie).

Ugradnja više strategija grupiranja dopušta izbor prikladne strategije za problem koji se rješava i omogućava dobivanje saznanja o stabilnosti strukture sličnosti objekata. Naime, ako su male razlike među rješenjima dobivenim različitim strategijama, znači da je stabilna i izražena struktura sličnosti.

Na kraju se može hijerarhijska struktura skupine objekata grafički prezentirati u obliku dendograma. Dendogram predočava proces oblikovanja skupina i njihovu hijerarhiju.<sup>3)</sup>

2) Detaljan matematički opis strategija dan je u radu [10].

3) Za sistem sa većim brojem objekata postaje nepregledan.

## 3. OPIS RAZVIJENOG POSTUPKA

Postupak se bazira na opisanom hijerarhijskom aglomerativnom Cluster algoritmu.

Ulazni podaci pripremaju se u obliku matrice strojevi-dijelovi sa binarnim elementima ( $x_q=1$ , x-ti dio se obradjuje na q-tom stroju, inače je  $x_q=0$ ). Prema tome stupci matrice predstavljaju vektore tehnoloških procesa<sup>4)</sup> dijelova.

Matrica udaljenosti (D) izmedju dijelova dobiva se proračunom. Za tu je svrhu prethodno potrebno definirati funkciju sličnosti ( $s_{xy}$ ) dvaju vektora. Odnos udaljenosti i sličnosti dvaju vektora prikazuje se izrazom  $d_{xy}=1-s_{xy}$  ( $d_{xy}$ -element matrice D;  $x,y=1,\dots,n$ , n-broj dijelova). Budući da su x i y binarni vektori sa komponentama  $x_q$  i  $y_q$  ( $q=1,\dots,m$ ; m - broj strojeva), vrijede slijedeće relacije:

1. Broj pozicije dvaju vektora x i y za koje su  $x_q$  i  $y_q$  jednaki 1 (obradjuju se na istovrsnom stroju):

$$\alpha = \sum_{q=1}^m \min(x_q, y_q) \quad (1)$$

2. Broj pozicija dvaju vektora x i y za koje vrijedi  $x_q=1$ , a  $y_q=0$ :

$$\beta = \sum_{q=1}^m x_q - \alpha \quad (2)$$

3. Broj pozicija dvaju vektora x i y za koje vrijedi  $x_q=0$ , a  $y_q=1$ :

$$\gamma = \sum_{q=1}^m y_q - \alpha \quad (3)$$

4. Broj pozicija dvaju vektora x i y za koje su  $x_q$  i  $y_q$  jednaki 0:

$$\delta = m - (\alpha + \beta + \gamma) \quad (4)$$

U odnosu na dane relacije može se definirati čitav niz različitih funkcija sličnosti. Odabir konkretne funkcije sličnosti

<sup>4)</sup> Redoslijed obrade za promatrani problem nije od značaja.

prvenstveno ovisi o vrsti i prirodi definiranih obilježja. U ovom postupku primjenjen je oblik funkcije sličnosti (izraz (5)), koji za razliku od poznatih uključuje još uticaj vrijednosti strojeva.

$$s_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot VS_i + \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot VS_i}{\sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot VS_i + \sum_{i=1}^m \beta_i \cdot VS_i + \sum_{i=1}^m \gamma_i \cdot VS_i + \sum_{i=1}^m \delta_i \cdot VS_i} \quad (5)$$

gdje je:  $VS_i$  - novčana vrijednost  $i$ -tog stroja [din].

Uvodjenje vrijednosti strojeva u funkciju sličnosti ima tendenciju da osigura "privlačenje", odnosno povećanje stupnja sličnosti, onih dijelova koji se izradjuju na skupim sredstvima za proizvodnju. Jer općenito, skup strojeva nije moguće podijeliti bez ostatka, pa onda valja nastojati da taj ostatak (zajednički stroj) bude što jeftiniji stroj. Na taj se način stvaraju uvjeti, pri podjeli sistema, da kapitalom intenzivna sredstva za proizvodnju budu dobro iskorištena i da se time postigne "dobro" vrijednosno iskorištenje sistema.

Po potrebi zadavanjem  $VS_i=1$ ;  $i=1, \dots, m$ ; može se isključiti uticaj vrijednosti strojeva iz funkcije sličnosti  $s_{xy}$ .

Postupak omogućava korištenje osam ranije navedenih strategija za grupiranje. Kod grupiranja dijelova, najbolji rezultati dobiveni strategijom "centroid", koja "spaja" one skupine čija težišta imaju minimalne udaljenosti. To je i razumljivo jer težište svake skupine objekata najbolje reprezentira njen položaj u prostoru.<sup>5)</sup> Zadovoljavajući rezultati postignuti su i sa strategijama "medijan" i po Wardu.

Naizgled veći broj mogućih rješenja otežava njihovu obradu u procesu odlučivanja o najpogodnijoj podjeli.

Medjutim, ako se kao kriterij uvede "dobrete podjele sistema" (izraz (6)), tada samo mali broj mogućih rješenja dolazi u obzir na razmatranje.

<sup>5)</sup> Dijelovi se predočavaju kao točke u prostoru

$$F_{\text{teor}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot VS_i}{\sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ijg} \cdot VS_i} \quad (6)$$

$n$  - broj dijelova

$m$  - broj strojeva

$F_{\text{teor}}$  - koeficijent teoretske dobrote podjele sistema<sup>6)</sup>

$c_{ij}$  - koeficijent vremenskog opterećenja  $i$ -tog istroja  $j$ -tim dijelom

$\bar{c}_{ijg}$  - koeficijent vremenskog opterećenja  $i$ -tog stroja  $j$ -tim dijelovima, za grupu  $g$ , zaokruženo na prvi veći cijeli broj.

Proračun  $F_{\text{teor}}$  i  $F_{\text{stv}}$  vrši se na osnovu ulazne baze podataka koja sadrži podatke o proizvodnom programu, tehnološkim procesima i sredstvima za proizvodnju.

Shodno uvodjenju vrijednosti stroja u funkciju sličnosti, kriterij dobrote podjele sistema ( $F_{\text{teor}}$  i  $F_{\text{stv}}$ ) ima za cilj usvajanje onog rješenja koje osigurava dobro iskorištenje strojeva i to posebno onih kapitalom intenzivnih.

Da bi se proces odlučivanja mogao efikasno obaviti, analiza rezultata treba teći u obrnutom smjeru od hijerarhije grupiranja. To znači, od zadnje grupe koju sačinjavaju svi dijelovi, odnosno svi strojevi zajedno, za koju ujedno  $F_{\text{teor}}$  i  $F_{\text{stv}}$  dostižu maksimalne vrijednosti, prema redom sve finijoj podjeli na dvije ili više grupa. Razlog tome leži u činjenici da je u većini slučajeva teško očekivati prihvatljiva rješenja na nižim hijerarhijskim nivoima sa velikim brojem grupa.

Uz to se u analizu uključuju slijedeći dodatni kriteriji:

- vrijednost angažiranih obrtnih sredstava u procesu izrade, odnosno montaže sa ciljem da se osigura kratki ciklus proizvodnje kapitalnih dijelova (kao pomoćno sredstvo, u postupku se koristi ABC analiza dijelova)
- broj strojeva u grupi, jer se velikim brojem strojeva u grupi umanjuju efekti koji se općenito postižu grupiranjem.

Koeficijentima teoretske i stvarne dobrote podjele sistema može se ocijeniti i stabilnost strukture podataka. Naime, ako je

<sup>6)</sup> Postupkom se proračunava i vrijednost  $F_{\text{stv}}$  - koeficijent stvarne dobrote podjele sistema, koja se razlikuje od  $F_{\text{teor}}$  samo po tome što se u brojničku umjesto  $c_{ij}$  koristi  $\bar{c}_{ij}$  - koeficijent vremenskog opterećenja  $i$ -tog stroja  $j$ -tim dijelovima, zaokruženo na prvi veći cijeli broj



## H I C L strategija : centroid

```

d i j e l o v i
G. 1/ 6
G. 2/ 17
G. 3/ 35 30 28 20 5 4 26 2 32 11 24
G. 4/ 40 37 33 25 18 13 12 39 16 3 22 36
G. 5/ 38 27 19 31 10 9 14 1 21
G. 6/ 34 7 23 15 8 29
s t r o j e v i
G. 1/ 3 4 8 16 18
G. 2/ 5 7 7 10
G. 3/ 7 9 15 15 16 6
G. 4/ 3 4 8 8 11 16 16 18 9 10 6
G. 5/ 1 2 6 13 17 3 15 5
G. 6/ 5 12 14 10
* Dobrota cijepanja sistema :
teoretska = .62730 stvarna = .71217

d i j e l o v i
G. 1/ 6
G. 2/ 40 37 33 25 18 13 12 39 16 3 22 36
G. 3/ 38 27 19 31 10 9 14 1 21
G. 4/ 34 7 23 15 8 29
G. 5/ 35 30 28 20 5 4 26 2 32 11 24 17
s t r o j e v i
G. 1/ 3 4 8 16 18
G. 2/ 3 4 8 8 11 16 16 18 9 10 6
G. 3/ 1 2 6 13 17 3 15 5
G. 4/ 5 12 14 10
G. 5/ 7 7 7 9 15 15 16 6 5 10
* Dobrota cijepanja sistema :
teoretska = .62730 stvarna = .71217

d i j e l o v i
G. 1/ 38 27 19 31 10 9 14 1 21
G. 2/ 34 7 23 15 8 29
G. 3/ 35 30 28 20 5 4 26 2 32 11 24 17
G. 4/ 40 37 33 25 18 13 12 39 16 3 22 36 6
s t r o j e v i
G. 1/ 1 2 6 13 17 3 15 5
G. 2/ 5 12 14 10
G. 3/ 7 7 7 9 15 15 16 6 5 10
G. 4/ 3 4 8 8 11 16 16 18 9 10 6
* Dobrota cijepanja sistema :
teoretska = .72555 stvarna = .82371

d i j e l o v i
G. 1/ 34 7 23 15 8 29
G. 2/ 40 37 33 25 18 13 12 39 16 3 22 36 6
G. 3/ 35 30 28 20 5 4 26 2 32 11 24 17 38 27 19 31 10 9 14 1 21
s t r o j e v i
G. 1/ 5 12 14 10
G. 2/ 3 4 8 8 11 16 16 18 9 10 6
G. 3/ 7 7 7 9 15 15 16 6 5 10 1 2 13 17 3
* Dobrota cijepanja sistema :
teoretska = .78750 stvarna = .89404

d i j e l o v i
G. 1/ 40 37 33 25 18 13 12 39 16 3 22 36 6
G. 2/ 35 30 28 20 5 4 26 2 32 11 24 17 38 27 19 31 10 9 14 1 21 34 7
23 15 8 29
s t r o j e v i
G. 1/ 3 4 8 8 11 16 16 18 9 10 6
G. 2/ 7 7 7 9 15 15 16 6 5 10 1 2 13 17 3 12 14
* Dobrota cijepanja sistema :
teoretska = .83965 stvarna = .95324

d i j e l o v i
G. 1/ 35 30 28 20 5 4 26 2 32 11 24 17 38 27 19 31 10 9 14 1 21 34 7
23 15 8 29 40 37 33 25 18 13 12 39 16 3 22 36 6
s t r o j e v i
G. 1/ 7 7 7 9 15 15 16 6 5 10 10 1 2 13 17 3 12 14 4 8 8 11 18
* Dobrota cijepanja sistema :
teoretska = .88084 stvarna = 1.00000

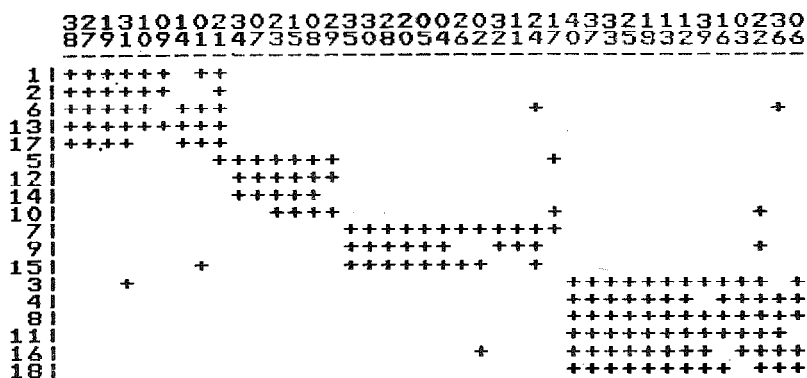
```

Sl. 3. Djelomični listing izlaznih rezultata



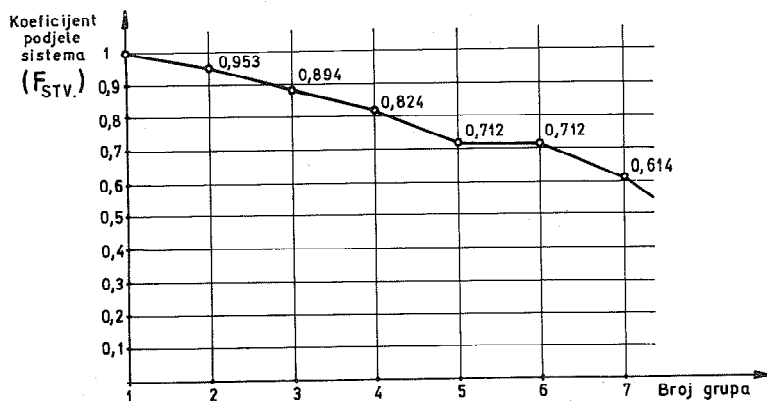
Na osnovu ulazne matrice (Sl. 2) i izraza (5), izračunava se matrica udaljenosti tehnoloških vektora, koja nije prikazana. Ona se dalje koristi za hijerarhijski postupak grupiranja prema jednoj od 8 mogućih strategija.

Posljednjih nekoliko hijerarhijskih nivoa grupiranja, dobivenih strategijom "centroid", prikazana je na (Sl. 3), a blok dijagonalni raspored za strukturu od četiri grupe dan je na (Sl. 4).



Sl. 4. Blokdiagonalna matrica sa četiri grupe

Kvantitativni prikaz stabilnosti sistema predložen je na (Sl. 5). Iz njega je vidljiv blagi pad koeficijenta dobrote podjele sistema sa porastom broja grupe, što ukazuje da je struktura za navedeni primjer stabilna.



Sl. 5. Dijagram  $F_{stv}$  - broj grupa

## 5. ZAKLJUČAK

Jedna od mogućnosti za racionalizaciju maloserijske proizvodnje je primjena organizacijskog principa obrade skupine sličnih dijelova na za to određenoj grupi strojeva. Za ostvarenje ovog koncepta potrebno je istražiti spektar dijelova, oblikovati skupine sličnih dijelova i odrediti grupe strojeva za njihovu kompletnu izradu. Cilj istraživanja je bila primjena hijerarhijskog aglomerativnog Cluster algoritma za rješavanje ovog problema. U tu svrhu razvijena je funkcija sličnosti koja uz poznate veličine, uključuje još uticaj vrijednosti strojeva na kojima se obraduju dijelovi.

Definiran je i kriterij dobrote podjele sistema, koji zorno prikazuje stabilnost strukture sistema. Dosadašnja primjena postupka ukazuje na ispravnost opisanog pristupa problemu.

## Reference

- [1.] Šolaja, V., Urošević, S., Abu-Zeid, M.R.: Manufacturing system analysis and evaluation for group technology applications, Proc. 26 th AIIE Ann.Conf., 1975, s. 279-286.
- [2.] Peklenik, J., Grum, J., Logar, B.: An integrated approach to CAD/CAPP/CAM and group technology by pattern recognition, 16 th CIRP International seminar on Manufacturing Systems, 1984, Tokyo.
- [3.] Warnecke, H.J., Osman, M., Weber, G.: Gruppentechnologie, Fabrikbetrieb/Ind. Engng., 29(1980), 1, s. 5-12.
- [4.] Vajna, S.: Gruppentechnologie als Bindeglied zwischen CAD und CAM, VDI-Z, 129(1987), 11, s. 44-49.
- [5.] Warnecke, H.J., Saak, V., Häusserman, S.: Gruppentechnologie und Fertigungszellen, WT-Werkstattstechnik, 69(1979), 3, s. 164-166.
- [6.] Jaeger, H., Vranješ, B., Talić, R.: Postignuti efekti u eksperimentalnoj relativno autonomnoj proizvodnoj jedinici, Zbornik radova PPS'80, Novi Sad, 1980, s. 333-344.
- [7.] Jaeger, H., Mikšić, D., Vranješ, B.: Organizacioni problemi pri uvodjenju relativno autonomnih grupa u proizvodnju, Proizvodnja, 1982, 6, s. 14-21.
- [8.] Ahlman, H.J.: Fertigungsinsel-eine alternative Produktionsstruktur, Werkstatt und Betrieb, 113(1980), 10, s. 641-648.

- [9.] Steinhausen, D., Langer, K.: Clusteranalyse, Walter de Gruyter, Berlin, 1977.
- [10.] Späth, H.: Cluster-Analyse-Algorithmen zur Objektklassifizierung und Datenreduktion, R.Oldenbourg Verlag, München/Wien, 1975.
- [11.] Freist, C., Granow, R.: Ähnlichkeitsteilsuche mit Hilfe der Clusteranalyse, VDI-Z, 124 (1982), 11, s. 413-421. i 124(1982), 13, s. 487-495.

B. Vranješ, B. Jerbić, D. Zubović

CLUSTER ALGORITHM FOR STRUCTURING  
A MANUFACTURING SYSTEM

S u m m a r y

A developed heuristic Cluster algorithm for structuring production (manufacturing) systems based upon technological similarities of parts has been presented. The purpose of the algorithm is the formation of the group layout system and the examination of the possibilities of their application. Capital resources necessary for the manufacturing process should be put to profitable use. Expensive parts from the production programme ought to be worked out quickly and meet high standards, thus raising the economic efficiency of the manufacturing system. Therefore, the algorithm, besides other criteria, includes the value of means of production and the value of working assets employed in the production (manufacturing) process.

M.RADOJIČIĆ ,M.ŽIŽOVIĆ\*

IZBOR OPTIMALNOG ASORTIMANA PROIZVODNJE  
METODOM VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE

U cilju efikasnijeg izbora asortimana proizvodnje, konkretno u industriji reznih alata, razvijen je višekriterijumski model koji omogućava poredjenje kako postojećih proizvodnih programa medjusobno, tako i postojećih sa novoprojektovanim rešenjima. Projektovani višekriterijumski model predstavlja osnovu za dalja odlučivanja pri uvodjenju novih proizvoda u proizvodni program ove industrije.

Formiran je sistem dinamičkih kriterijuma, kriterijuma koji obuhvataju vremensku funkciju vrednosti (tabela 1), za svestranu selekciju upoređivanih alternativa. Uz izražen zahtev da se sa što manje kriterijuma dodje do objektivne baze za dalja odlučivanja izvršena je analiza opravdanosti istovremene upotrebe različitih dinamičkih kriterijuma (na primeru i za konkretne uslove Fabrike reznog alata u Čačku) i prikazana u tabeli 1.

Imajući u vidu relacije koje odredjuju ove kriterijume logična je saglasnost rezultata (tabela 1). Može se istaći da što je veća vrednost kriterijuma sadašnje vrednosti projekta to je i stopa povraćaja (interna stopa rentabilnosti) veća, a period povraćaja (t) manji i obratno.

Upotreba svih ovih kriterijuma zajedno ne daje praktično

---

\* Miroslav Radojičić, dr ing, docent, Tehnički fakultet, Čačak, ul. B. Kidriča bb  
dr Miliša Žižović, vanredni profesor, Tehnički fakultet, Čačak

Tabela 1

Rang projekta	Naziv projekta	K r i t e r i j u m				
		Stopa povraćaja p (%)	Sadašnja vrednost PW (din)	Period povraćaja t (god)	Anuiteta A <sub>PW</sub> (din)	Relativna ekonomska efikasnost $E_s = \frac{PW}{I}$
			(10 <sup>3</sup> )			
1	Alati sa tvrdim metalom	50%	261.844	5,04	100.810	0,50
2	Vretenasta glodala	46%	180.860	5,67	69.631	0,35
3	Razvrtači	44%	70.260	6,03	27.050	0,28
4	Narezнице	38%	23.404	7,12	9.010	0,105
5	Upuštači	37%	10.617	7,44	4.086	0,065
6	Spiralne burgije	35%	5.103	7,9	1.965	0,010

neku veliku korist već se samo ocene prioriteta izražavaju u različitim jedinicama, zadržavajući pri tome isti rang alternativa. Ono što je izdvojilo kriterijum stope povraćaja od ostalih kao najpovoljniji, je to što je on kompleksni i univerzalni pokazatelj efikasnosti koji uz to, za razliku od drugih kriterijuma, ne zahteva predviđanje stope aktualizacije.

U cilju podizanja kriterijumske baze na nivo koji omogućava objektivna odlučivanja, globalna slika dobijena na osnovu kriterijuma stope povraćaja, izoštrana je u skladu sa specifičnim karakteristikama same proizvodnje reznih alata i uslovima pod kojima se ostvaruje u nas (tabela 2).

Da bi dobili konačan rang, odnosno pokazatelj ukupne povoljnosti pojedinih programa u odnosu na druge programe upotrebljen je metod višekriterijumske optimizacije. Utvrđivanje konačnog ranga kada postoji više alternativa, ocenjenih po više raznorodnih kriterijuma, datih u različitim jedinicama i sa različitim relativnim značajem, različitim zahtevom za maksimizacijom ili minimizacijom, predstavlja problem višekriterijumske optimizacije. U cilju konačnog rangiranja, odnosno optimizacije primenjena je metoda PROMETHEE. Detaljna koncepcija ove metode data je u radu [1].

U ovom radu je prikazana mogućnost primene PROMETHEE metode sa preferencijskim funkcijama različitim od uobičajenih tzv. generalisanih kriterijuma.

Tabela 2

Kriterijum Težinski faktor	1. Stopa povraćaja	2. Efikasnost ulaganja po strukturnim elementima ulaganja			3. Uvozna zavisnost		4. Devizna rentabilnost	5. Analiza osetljivosti na promenu ulaznih i izlaznih veličina
		2.1. Dohodak u odnosu na ulaganja u osnovna sredstva	2.2. Dohodak u odnosu na uloženi materijal	2.3. Dohodak u odnosu na uloženi rad	3.1. Analiza učeska uvozne opreme	3.2. Analiza učeska uvoznog reprodukcijskog materijala		
Naziv projekta	$\%_1 = 1$	$\%_2 = 1$	$\%_2 = 1$	$\%_3 = 1$	$\%_3 = 1$	$\%_4 = 1$	$\%_5 = 1$	
		$\%_{2,1} = 0,4$	$\%_{2,2} = 0,4$	$\%_{2,3} = 0,2$	$\%_{3,1} = 0,5$	$\%_{3,2} = 0,5$		
a	50 %	6,68	1,41	3,87	41 %	17 %	3,26	1
b	46 %	3,48	1,66	4,46	71 %	78%	1,52	1
c	44 %	4,12	2,28	3,31	56 %	71 %	2,30	1
d	38 %	5,14	1,82	2,66	28 %	80 %	1,87	0
e	37 %	4,36	1,37	2,86	31 %	75 %	2,53	0
f	35 %	3,38	0,63	4,29	78 %	80 %	0,12	0

Osnovni cilj ovog rada je da omogući nosiocu odlučivanja da što uspešnije izrazi svoje preferencije po pojedinim kriterijumima, uzimajući u obzir bitne specifičnosti različitih kriterijuma. Preferencijska funkcija je u dosadašnjoj praksi definisana za svaki kriterijum ( $f_i$ ) posebno, uzimajući vrednosti između 0 i 1 i izražavajući pri tom intenzitet preferencije između upoređivanih alternativa (npr. a i b,  $a, b \in K$ ). U slučaju striktno preferencije vrednost preferencijske funkcije biće 1.

U dosadašnjim praktičnim primenama najčešće je korišćeno 6 preferencijskih funkcija - generalizovanih kriterijuma definisanih u radu [1].

Može se praktično definisati neograničen broj funkcija koje mogu biti upotrebene kao preferencijske funkcije. U ovim funkcijama nosilac odlučivanja vrši distribuciju preferencija po pojedinim kriterijumima duž neimenovane skale 0-1.

U radu je pokazano da se jednim tipom funkcija može izraziti sva složenost ovog problema višekriterijumskog rangiranja. Pod preferencijskim funkcijama ovog tipa podrazumevamo sledeće funkcije:

$$H(x) = \begin{cases} m \frac{|x|^\alpha}{p^\alpha} & |x| \leq p \\ m + \frac{1-m}{(q-p)^\beta} (|x| - p)^\beta & p \leq |x| \leq q \\ 1 & |x| > q \end{cases}$$

-pri čemu su  $\alpha$  i  $\beta$  parametri brzine preferencije ( $0 < \alpha < \infty$ ,  $0 < \beta < \infty$ )

p - granica promene brzine preferencije

q - granica preferencije

m - parametar.

Ovi parametri biće određeni od strane nosioca odlučivanja, čime će on uspešno moći da izrazi specifičnosti određenih problema i naravno izrazi svoje preferencije po pojedinim kriterijumima. Ova funkcija obuhvata i sve generalizovane kriterijume.

Na osnovu odredjenih preferencijskih funkcija i parametara (tabela 3) izračunate su vrednosti indeksa preferencije  $\mathcal{H}(a, b)$  korišćenjem izraza:

$$\mathcal{H}(a, b) = \frac{1}{\sum_{i=1}^k Z_i} \sum_{i=1}^k P_i(a, b) \cdot Z_i \quad 0 < \mathcal{H}(a, b) < 1.$$

$P_i(a, b)$  - funkcija preferentnosti

Tabela 3

Kriterijum $f_1$	Relativni značaj $Z_1$	Tip preferencijske funkcije	Parametri	$p_j(x)$	$x=f(a)-f(b)$	Zahtev (MAX-MIN)		
1	1		$\alpha=1/2$ $p=9$ $m=1$	1	$x \geq 9$	MAX		
							$\frac{\sqrt{x}}{3}$	$x \leq 9$
							$x^2$	$x \geq 1,5$
2	0,4		$\alpha=2$ $\beta=1/2$ $p=1,5$ $q=2,5$ $m=1/2$	1	$x \leq 2,5$	MAX		
							$\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{x-1,5}}{2}$	$1,5 \leq x \leq 2,5$
							$x^2$	$x \geq 1,5$
3	0,5		$\alpha=3$ $\beta=4$ $p=30$ $q=50$ $m=1/2$	1	$x \geq 50$	MIN		
							$\frac{1}{2} + \frac{1}{20^4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(x-30)^4}$	$30 \leq x \leq 50$
							$\frac{1}{2} \cdot \frac{x^3}{30^3}$	$x \leq 30$
4	1		$\alpha=2$ $p=2$ $m=1$	1	$x \geq 2$	MAX		
							$\frac{x^2}{4}$	$x \leq 2$
							$x^2$	$x \geq 2$
5	1		$\alpha=0$ $m=1$	0	$x \leq 0$	MAX		
							1	$x > 0$



Tabela 4

I N D E K S I		S A G L A S N O S T I				
-	a	b	c	d	e	f
a	-	0,515	0,398	0,658	0,612	0,842
b	0,004	-	0,106	0,419	0,428	0,512
c	0,013	0,052	-	0,381	0,393	0,686
d	0,007	0,122	0,059	-	0,081	0,454
e	0,002	0,126	0,033	0,022	-	0,397
f	0,002	0	0,009	0,027	0,018	-

Izračunate vrednosti indeksa preferencije  $\varphi$  svrstane su u tabelu 4. Na osnovu indeksa preferencije za svaku od uporedivanih alternativa može se odrediti vrednost:

-izlaznog toka:

$$\varphi^+(a) = \sum_{x \in K} \pi(a, x) \quad , \text{ kao jedna}$$

sintetička mera preferentnosti alternative  $a$  u odnosu na sve ostale u skupu  $K$ ,

-ulaznog toka:

$$\varphi^-(a) = \sum_{x \in K} \pi(x, a) \quad , \text{ koja pokazuje}$$

koliko sve ostale upoređivane alternative nadmašuju alternativu  $a$ ,

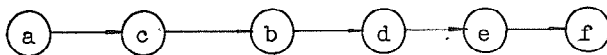
-kao i čistog toka :

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) .$$

Na osnovu metode PROMETHEE I [1] dobijena je tabela 5 i tzv. parcijalni poredak upoređivanih alternativa. (slika 1).

Tabela 5

- \ M	a	b	c	d	e	f
$\varphi^+(M)$	3,025	1,475	1,525	0,723	0,58	0,056
$\varphi^-(M)$	0,028	0,815	0,605	1,507	1,532	2,897



sl. 1

Potpuni poredak alternativa (čist tok) dobijen je PROMETHEE II metodom :

$$\varphi(a) = 2,997$$

$$\varphi(d) = -0,784$$

$$\varphi(b) = 0,66$$

$$\varphi(e) = -0,952$$

$$\varphi(c) = 0,92$$

$$\varphi(f) = -2,841$$

ovo potpuno uredjenje prikazano je slikom 2.



sl. 2

Tako bi konačna rang lista upoređivanih programa bila :

- I rang - alati sa tvrdim metalom
- II rang - razvrtači
- III rang - vretenasta glodala
- IV rang - nareznice
- V rang - upuštači
- VI rang - spiralne burgije

#### ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da se primenom predložene funkcije može izraziti sva složenost izbora preferencijskih funkcija u problemima višekriterijumske optimizacije PROMETHEE metodom. Ovim se omogućava donosiocu odluke da izrazi svoje preferencije po pojedinim kriterijumima.

Primenom predloženog pristupa dobijena je potpuna saglasnost u rang upoređivanih alternativa kao i pri primeni: PROMETHEE metode sa generalizovanim funkcijama, metode kompromisnog programiranja i metode Elektra.

Prednost primene PROMETHEE metode sa predloženom funkcijom je ta što je data veća mogućnost kreativnog uticanja donosioca odluke i što skoro uvek na ovaj način dobijamo linearni poredak upoređivanih alternativa.

Na osnovu predloženog postupka može se efikasno izvršiti optimizacija asortimana proizvodnje i može se argumentovano potvrditi u konkretnom slučaju zašto pojedine programske koncepcije treba forsirati a od drugih pak odustajati.

#### Literatura:

- [1] Brans J.P. and Vincke PH., A Preference Ranking Organisation Method (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision Making), Management Science, Vol 31, No. 6, June, 1985.
- [2] Stojanović S., Prilog metodama za višekriterijumsko rangiranje ekonomskih celina, "Upravljanje sistemima," Naučna knjiga, 1986.

M. RADOJIČIĆ, M. ŽIŽOVIĆ

AUSWahl DES OPTIMALEN PRODUKTIONSORTNEMENTS DURCH DIE METHODE DER MEHRKRITERIUMSOPTIMIERUNG

#### ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeit ist auf die Anwendungsmöglichkeit der PROMETHEE-Methode mit den Präferenzfunktionen hingewiesen, die von den üblichen unterschiedlich sind. Durch den vorgeschlagenen Zugang wird ein grösserer kreativer Einfluss des Entscheidungsbringers bei den Problemlösungen der Mehrkriteriumsoptimierung ermöglicht.

основу хеуристике коју користе људи приликом хватања. За механизам закључивања и спрегу са корисником искоришћена је љуска експертног система ИС-08. Управљање хватаљком се остварује на основу унетих правила, тако што се испитују услови из правила, и на основу задовољених услова спроводе се управљачке акције.

#### 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д. Зеленовић, И. Ћосић, Д. Шормаз, Д. Шешлија: Прилог развоју флексибилне монтажне ћелије у условима групне технологије, Зборник радова Пети југословенски симпозијум за примењену роботiku и флексибилну аутоматизацију, Блед, јуни 1987.
- [2] R. Tomović and G. Boni: An Adaptive Artificial Hand, Trans. IRE, AC-7: 3 - 10, 1962.
- [3] M. Rakić: Multifingered Robot Hand With Selfadaptability, Proceedings of International Conference on the Robotics, Dubrovnik, August 1987.
- [4] D. Zelenović, I. Čosić, R. Maksimović, D. Šešlija: Contribution to the Development of Robotic Assembly in Group Flows, Proceedings of Fourth Yugoslav-Soviet Symposium on Applied Robotics and Flexible Automation, Novi Sad, May 1988.
- [5] G. Lister: The Hand: Diagnosis and Indications, Churchill, Lingviston 1977.
- [6] Д. Зеленовић, С. Станковски, Д. Шешлија, М. Павловић, Д. Шормаз: Изградња љуске експертног система ИС-08, Зборник радова XV симпозијума југословенских операционих истраживача SYM-OP-IS '88, Бриони, 11 - 14 октобра 1988.

S. Stankovski, D. Šešlija

#### DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEMS CONTROL FOR DEXTRIOUS HAND

The paper shows development of an expert system for control of a flexible multifingered hand. Expert system should enable the control of the hand based on heuristic rules. Expert system is realized using PC computer and the hand controller which are connected through parallel port. Expert system, also, communicates with the controller of an industrial robot which carries the hand.

S. Arsovski

PRODUKTIVNOST KROZ FLEKSIBILNU AUTOMATIZACIJU  
U INDUSTRIJI PRERADE METALA

1. UVOD

Jedan od puteva za povećanje produktivnosti u industriji prerade metala je promena fleksibilne automatizacije. U domaćim uslovima ovom problemu se prilazi uglavnom sa tehničke strane, a zanemaruje se produktivistički aspekt iz više razloga. Jedan od važnih razloga je nepostojanje opšte metodologije i problemi kvantifikacije svih ulaznih veličina u obradni sistem. Iz ovih razloga je na Mašinskom fakultetu u okviru Centra za produktivnost rada razvijen CPR sistem za merenje, analizu i praćenje produktivnosti rada obradnih i proizvodnih sistema u celini. Na bazi ovog sistema razvijen je CPR - produktivistički informacioni sistem za velike računarske sisteme i personalne računare (IBM/AT).

U radu je dat deo rezultata analize produktivnosti obradnih sistema na bazi konvencionalnih alatnih mašina, kombinacije konvencionalnih mašina i CNC-obradnog centra i predviđenih performansi fleksibilnog tehnološkog sistema. Za analiziran proizvodni sistem utvrđen je stepen uticaja primene fleksibilne automatizacije na povećanje produktivnosti proizvodnog sistema u celini.

2. OSNOVE INFORMACIONOG SISTEMA ZA MERENJE PRODUKTIVNOSTI  
OBRADNIH I PROIZVODNIH SISTEMA

Produktivnost proizvodnih sistema se najčešće definiše kao odnos:

$$P = \frac{\text{Izlaz}}{\text{Ulaz}} = \frac{DP}{ZR+MR} \quad \text{gde su :}$$

Dr Slavko Arsovski, dipl. ing. docent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6

- DP - ostvareni društveni proizvod u posmatranom periodu,
- ŽR - utrošeni živi rad i
- MR - utrošeni minuli rad.

Produktivnost proizvodnog sistema u slučaju primene fleksibilnih tehnologija iznosi

$$P_c = \frac{DP + \Delta DP}{\bar{Z}R + \Delta \bar{Z}R + MR + \Delta MR} \quad \text{gde su:}$$

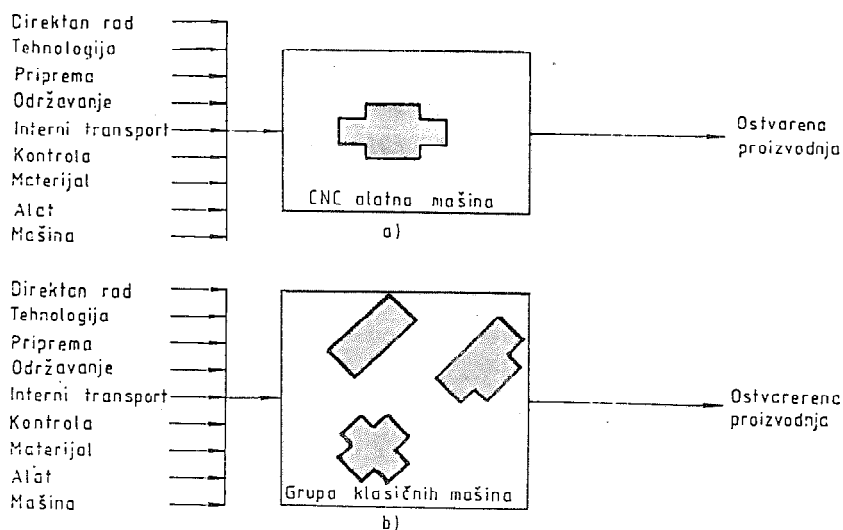
- DP - promena društvenog proizvoda u slučaju primene fleksibilne tehnologije,
- ŽR - primena utroška živog rada usled primene fleksibilne tehnologije i
- MR - primena utroška minulog rada usled primene fleksibilne tehnologije

Pri pravilnom izboru proizvoda i novih tehnologija za njihovu obradu  $\Delta DP$  ima pozitivnu vrednost, a zbir  $\Delta MR$  i  $\Delta \bar{Z}R$  najčešće ima negativnu vrednost. Intenzivnijom primenom fleksibilne tehnologije povećavaju se razlike  $\Delta DP$ ,  $\Delta \bar{Z}R$  i  $\Delta MR$  što se manifestuje kroz produktivnost proizvodnog sistema.

Pri analizi produktivnosti proizvodnih sistema u industriji prerade metala u kojima se primenjuju fleksibilne tehnologije izdvaja se deo proizvodnog sistema (obradni sistem) sa klasičnom tehnologijom ili fleksibilnom tehnologijom (CNC sistem ili fleksibilni tehnološki sistem). Polazi se od definicije produktivnosti kao odnosa veličina na izlazu iz sistema i ulaznih veličina u posmatrani sistem. Za poredjenje produktivnosti primenom alternativnih tehnologija broj jedinica proizvoda predstavlja izlaz iz obradnog sistema (sl. 1). On se definiše planom proizvodnje i u opštem slučaju ne zavisi od primenjene tehnologije.

Razlike u ostvarenoj produktivnosti posledica su pre svega razlika u veličini ulaza u sistem, koje se odnose na:

- materijal (razlike u procentu škarta obrade)
- živi rad (smanjeni utrošak direktnog rada, a isti ili smanjeni utrošak indirektnog rada),
- sredstva za rad (utrošeni minuli rad sadržan u mašinama i fleksibilnim tehnološkim sistemima je najčešće nekoliko puta veći od minulog rada sadržanog u klasičnim mašinama).



Sl. 1.

Pri razmatranju produktivnosti rada u slučaju primene NC i CNC tehnologija utrošeni živi i minuli rad grupišu se u tri dela:

- rad koji se vezuje za jedinicu proizvoda,
- rad koji se vezuje za seriju i
- rad koji se vezuje za godišnji obim proizvodnje

Grupisanje utrošenog rada u ove tri grupe celishodno je zbog odredjivanja optimalne oblasti primene NC i CNC tehnologija. Rad vezan za jedinicu proizvoda u daljem tekstu počinje sa slovom A, rad vezan za seriju sa B, a rad vezan za godišnji obim proizvodnje počinje sa slovom C.

Drugo slovo u oznaci definiše vrstu utrošenog rada (D-direktan rad, I-indirektan rad, M-minuli rad).

A - rad vezan za jedinicu proizvoda obuhvata:

- direktni rad radnika (ADRAD),
- direktni rad radnika na zameni alata (ADZAL),
- minuli rad sadržan u alatu (amortizacija alata - AMALA)
- indirektni rad na oštrenju alata (AIDAL),

- minuli rad sadržan u mašini (AMMAS)
- minuli rad sadržan u utrošenoj pogonskoj električnoj energiji (AMENE)
- minuli rad sadržan u materijalu predmeta obrade (AMMAT)
- minuli rad sadržan u SHP (AMSHP)
- usluge (minuli rad) koje obavlja drugi proizvodni sistem za potrebe posmatranog proizvodnog sistema (AMSUL)

B - rad vezan za seriju obuhvata:

- rad (indirektni) na pretpodešavanju alata (BIPPA)
- rad (indirektni) na poslovima kontrole serije (BIPKK)
- rad (indirektni) na poslovima pripreme serije (BIPPS),
- rad (indirektni) reglera i radnika na pripremi našine pre početka izrade serije (BIPRM),

C - rad koji se odnosi na godišnji obim proizvodnje obuhvata:

- rad (indirektni) na izradi tehnologije (CITEH),
- rad (indirektni) na puštanju delova u proizvodnju (probna serija) kod klasične tehnologije, odnosno, rad na optimizaciji programa na mašini kod primene NC i CNC tehnologija (CIOPM)
- rad (minuli) sadržan u specijalnim uređajima (šabloni, uređaji za izmenu alata i/ili predmeta obrade - CMSUR)
- rad (indirektni) na internom transportu (CIITR),
- rad (minuli) usled korišćenja transportnih sredstava (CMITR)
- rad (minuli) usled korišćenja uređaja za pretpodešavanje alata (CMPPA)
- rad (minuli) sadržan u kontrolnim uređajima i mernim mašinama (CMKUM),
- rad (minuli) sadržan u prostoru (CMPRO),
- rad (minuli) sadržan u potrošenoj pari, vodi i vazduhu (CMPVV),
- minuli rad vezan za ugradnju rezervnih delova, podmazivanje, itd. (CMODR),
- živi (indirektni) rad na održavanju (CIODR),
- minuli rad sadržan u uslugama bankarskih organizacija za obezbeđivanje investicionih sredstava za opremu (CMKAM).

Prema CPR-modelu recipročna vrednost produktivnosti obradnih sistema iznosi:

$$\frac{1}{p} = \frac{\text{Ulaz}}{\text{Izlaz}} = \frac{A \cdot s \cdot z + B \cdot s + C}{s \cdot z} = A + \frac{B}{z} + \frac{C}{s \cdot z} \quad \text{gde su:}$$

- s /ser/god/ - broj serija godišnje,
- z /kom/ser/ - broj komada u seriji.

Ova funkcija u koordinatnom sistemu sa osama s i z predstavlja jednu hiperboličnu površinu. Za različite tehnologije dobija ju se različite površi koje se u opštem slučaju seku. Projekcije presečnih linija mogu se koristiti za ocenu optimalnih oblasti primene alternativnih tehnologija.

Za poznatu vrednost s i z može zatim odrediti nivo produktivnosti alternativnih tehnologija.

### 3. REZULTATI ANALIZE PRODUKTIVNOSTI OBRADNIH I FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH SISTEMA

Pri analizi produktivnosti razmatran je jedan proizvodni sistem koji je ostvario ukupan prihod od  $1,3 \cdot 10^{11}$  din, uz materijalne troškove od  $0,8 \cdot 10^{11}$  din i amortizaciju od  $0,208 \cdot 10^{11}$  din. U ovom sistemu prve CNC-alatne mašine uvedene su 1978. godine za izradu grupe delova složenog oblika i velikih gabarita. Analizirana je klasična tehnologija jednog predstavnika grupe delova (izrada na horizontalnoj bušilici - glodalici i bušilici), CNC tehnologija (na CNC-obradnom centru) i tehnologiju obrade na projektovanom fleksibilnom tehnološkom sistemu (FTS).

Unosom i obradom ulaznih podataka došlo se do sledećih relacija:

$$\left(\frac{1}{p}\right)_k = 942.821 + \frac{1}{400} \cdot \frac{C_w}{EH} \cdot t_k$$

$$\left(\frac{1}{p}\right)_{\text{CNC}} = 642.405 + \frac{1}{400} \cdot \frac{C_w}{EH} \cdot t_k$$

$$\left(\frac{1}{p}\right)_{\text{FTS}} = 759.654 + \frac{1}{400} \cdot \frac{C_w}{EH} \cdot t_k$$

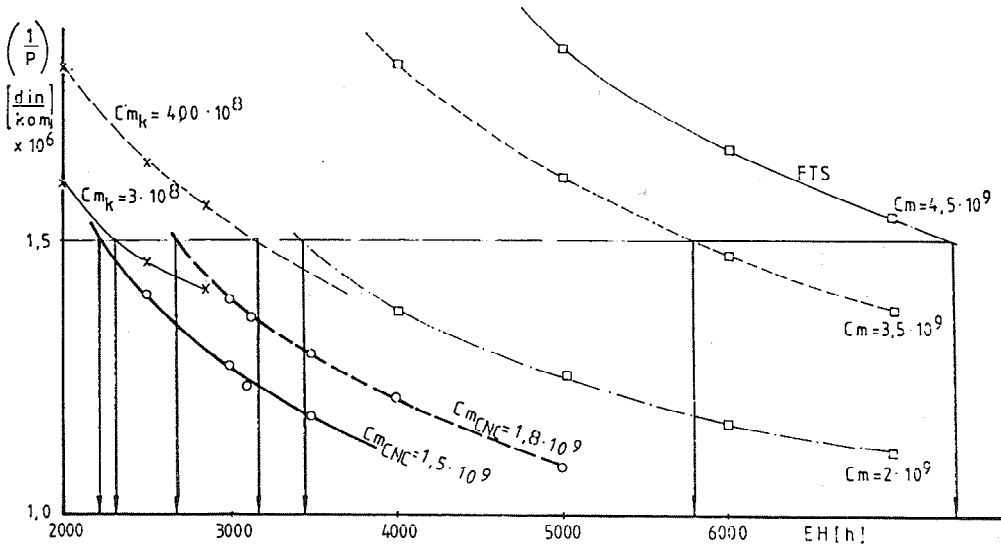
Uticao učesća sopstvenih sredstava nije uzet u obzir na taj način što se razmatrao slučaj nabavke mašina iz sopstvenih sredstava. Na sl. 2 prikazane su ove funkcije u zavisnosti od broja efektivnih sati (EH) i cene mašine ( $C_m$ ), a na sl. 3 u funkciji cene



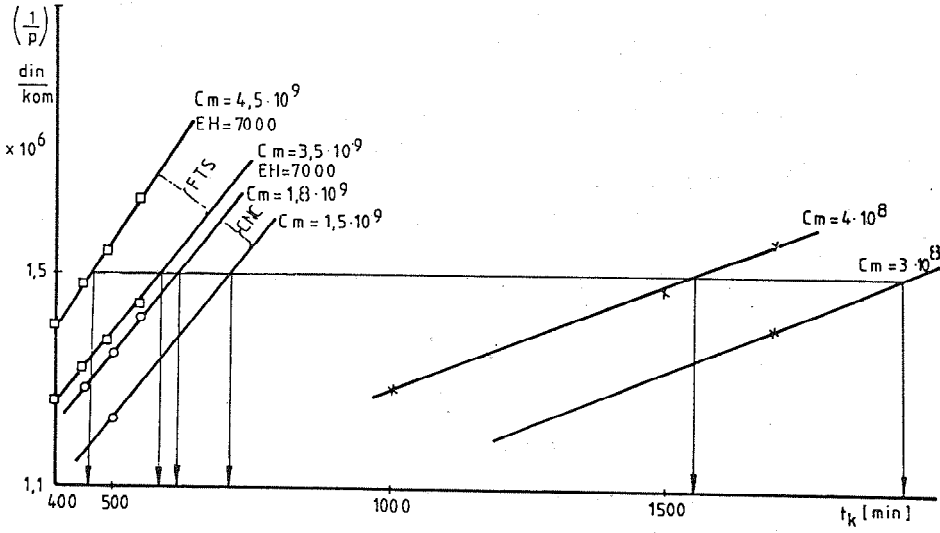
mašine i vremena izrade ( $t_k$ ), kao najuticajnijih veličina na nivo produktivnosti obradnih sistema.

Sa sl. 3 se može uočiti da se isti nivo produktivnosti (a time i troškovi proizvodnje) može ostvariti različitim tehnologijama sa različitim kombinacijama cene mašine i broja efektivnih sati rada istih. Tako npr. optimizacijom strukture FTS, što rezultuje smanjivanjem cene sa  $4,5 \cdot 10^9$  na  $3,5 \cdot 10^9$  din (EH = 5800 h/god) ostaruje se isti nivo produktivnosti kao i primenom CNC - tehnologije ( $C_m = 1,8 \cdot 10^9$  din, EH = 2750 h/god/) i klasična tehnologija ( $C_m = 3 \cdot 10^8$  din, EH = 2300 h/god/) pri ostvarenju projektovanog vremena izrade.

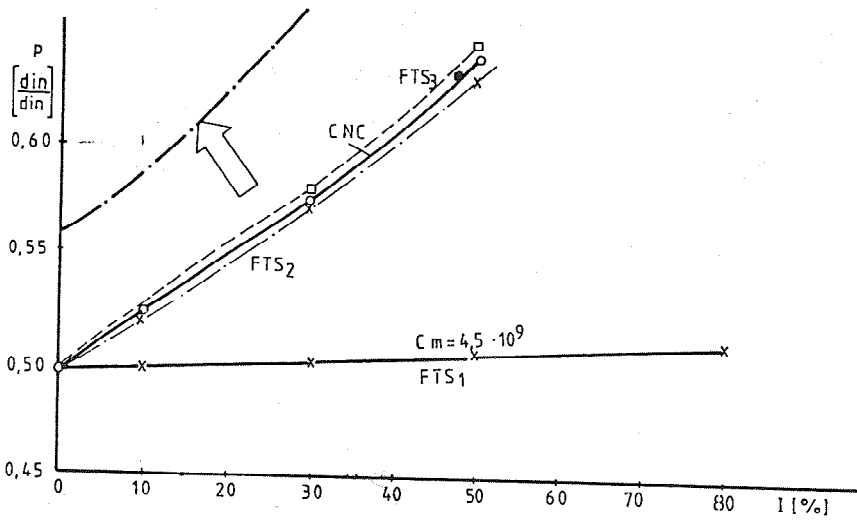
Ako je broj efektivnih sati rada opreme nepromenljiv, a varira se vreme izrade i cena opreme dolazi se do interesantnih zaključaka. Isti nivo produktivnosti ostvaruje se smanjenjem vremena izrade od 1750 min. na 1550 min (kod klasične tehnologije), 715 min na 620 min (kod CNC tehnologije) i od 530 min. na 465 min (kod FTS). Drugim rečima, smanjenje vremena izrade može ići samo do određene vrednosti. Ako je realizovano vreme izrade veće od te vrednosti na ovaj način se ne može kompenzovati pad produktivnosti zbog povećane cene mašine.



Sl. 2.



Sl. 3.



Sl. 4.

Za predviđenu oblast rada ( $s = 3$ ,  $z = 10$  kom) utvrđen je nivo produktivnosti, određene veličine  $\Delta DP$ ,  $\Delta \dot{Z}R$ ,  $\Delta MR$ . Na sl. 4 prikazani su delimični rezultati simulacije produktivnosti analiziranog proizvodnog sistema.

Produktivnost proizvodnog sistema u uslovima primene klasične tehnologije iznosila je u 1988. godini 0,49. To znači da je na svakih uloženi 100 dinara na izlazu ostvaren društveni proizvod od 49 din. Stepem uvođenja novih tehnologija je definisan kao odnos:

$$I/\% = \frac{\sum_{i=1}^K S_i \cdot z_i}{Q} \cdot 100 \quad \text{gde je}$$

- K - broj različitih proizvoda
- Q - godišnji obim proizvodnje.

Na sl. 4 linija označena sa FTS, predstavlja produktivnost proizvodnog sistema koja bi se ostvarila primenom fleksibilnih sistema cene  $4,5 \cdot 10^9$  din, a FTS<sub>2</sub> ako je cena  $3,5 \cdot 10^9$  dinara. Ako se u drugom slučaju uzme u obzir i smanjenje direktnog rada i produktivnost se povećava po liniji FTS<sub>3</sub>.

To znači da se pri intenzitetu primene od 50% u ispitivnom proizvodnom sistemu primenom FTS može očekivati povećanje produktivnosti do 40%. Ovo povećanje produktivnosti proizvodnog sistema ostvaruje se smanjivanjem ulaza pri istom izlazu iz sistema.

Ako se posmatra i drugi aspekt primene fleksibilne automatizacije koji se ogleda u povećanju kvaliteta proizvoda, smanjivanju vremena trajanja ciklusa (veći koeficijent obrta obrtnih sredstava), manje zalihe, itd. efekti primene novih tehnologija postaju znatno veći.

#### 4. ZAKLJUČAK

Iz izloženog mogu se izvući sledeći zaključci:

- primena fleksibilnih automatizovanih sistema utiče na nivo produktivnosti obradnih i proizvodnih sistema u celini;
- najuticajniji faktori na nivo produktivnosti obradnih sistema su cena mašine, broj efektivnih sati rada, vreme izrade i procentualno učešće sopstvenih sredstava za nabavku opreme;
- isti nivo produktivnosti obradnih sistema ostvaruje se različitim tehnologijama uz primenu najuticajnijih faktora na produktivnost rada;

- povećanje produktivnosti proizvodnog sistema u celini zavisi od izabrane kombinacije faktora i intenziteta primene novih tehnologija;
- ako je intenzitet primene novih fleksibilnih automatizovanih sistema 50%, "čista" primena tehnologije omogućava povećanje produktivnosti preko 50% (50-60%), kao povećanje izlaza iz sistema, što može rezultovati u povećanju produktivnosti proizvodnih sistema i do nekoliko puta;
- izlaz iz privrednih teškoća ne može se naći sa malim "prepravkama sistema" i stagnacijom ili malim rastom produktivnosti, već samo značajnim povećanjem produktivnosti koje se između ostalog može ostvariti i primenom fleksibilne automatizacije.

#### Reference

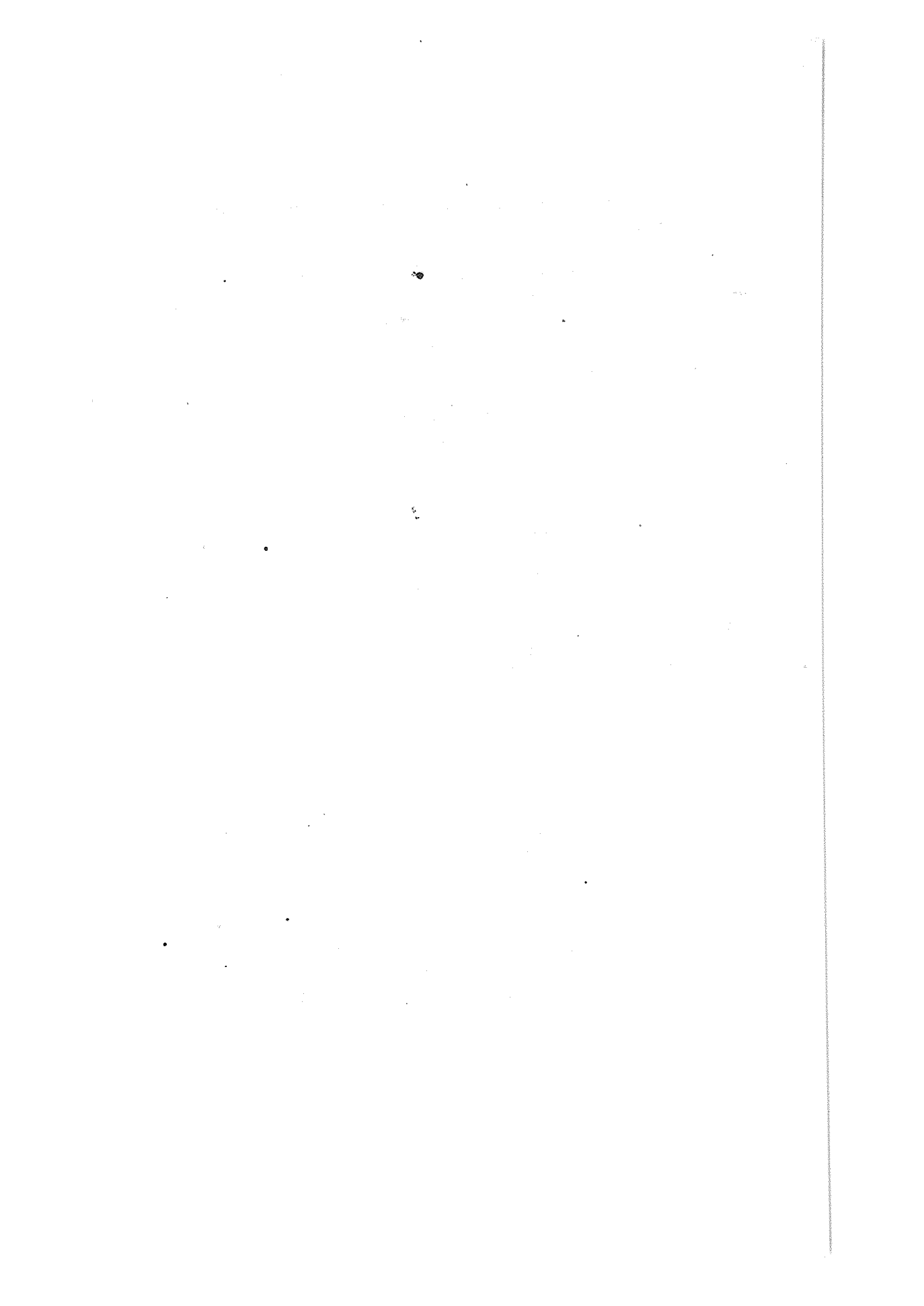
- /1/ Arsovski S.: Produktivnost proizvodnih sistema u industriji prerade metala u funkciji primene NC i CNC tehnologija, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1986.
- /2/ Arsovski S.: Produktivnost kroz automatizaciju proizvodnih sistema, Industrijski sistemi - IS'87, Novi Sad, 1987.
- /3/ Riggs J., Felix G.: Productivity by Objectives, Prentice Hall, Englewood, New Jersey, 1983.

S. Arsovski

#### PRODUCTIVITY THROUGH FLEXIBLE AUTOMATION IN METAL WORKING INDUSTRY

##### S u m m a r y

The paper considers some problems connected with the use of flexible automation, methodology for productivity measurement using CPR system and some results of the investigations into the effects of flexible automation on working - and production systems productivity.



M. Žižović, M. Radojičić\*

JEDAN PRISTUP PRIMENI METODE TRENUTNOG  
ZAPAZANJA

Snimanje stepena iskorišćenja kapaciteta u metaloprema-  
đivačkoj industriji najčešće se vrši pomoću metode trenutnog  
zapažanja. Kako je ova metoda zasnovana na teoriji verovatnoće  
to je u zavisnosti od pretpostavljenog ( verovatnog ) stepena  
iskorišćenja i željene tačnosti moguće odrediti potreban broj  
opažanja. Broj opažanja je obrnuto srazmeran veličini pretpo-  
stavljene stepena iskorišćenja i direktno srazmeran željenoj  
tačnosti. Dakle, što je manji stepen iskorišćenja i što veću  
tačnost želimo broj opažanja za dobijanje zadovoljavajućeg re-  
zultata je veći. Zbog ovoga, u pojedinim situacijama, period  
snimanja može biti veoma dug, a nisu tako retke situacije kada  
je iz raznih razloga potrebno ovaj koeficijent odrediti brzo.  
Zbog toga je ovde predloženo, da u takvim slučajevima, kada  
nam je u unapred zadatom periodu, potrebno sa određenom tačno-  
šću dobiti veličinu stepena iskorišćenja kapaciteta za dobija-  
nje potrebnog broja opažanja na osnovu kojih računamo taj ste-  
pen iskorišćenja kapaciteta sa potrebnom tačnošću, uvedemo po-  
treban broj snimača, koji snimaju u zadatom periodu nezavisno  
jedan od drugog.

Prednosti ovakvog pristupa primeni metode trenutnog za-

---

\*/ dr Mališa Žižović, dipl. mat., vanredni profesor  
Tehničkog fakulteta u Čačku, ul. B. Kidriča 65.

dr Miroslav Radojičić, dipl. ing. docent  
Tehničkog fakulteta u Čačku, ul. B. Kidriča 65.

pažanja su naročito izražene u slučaju kada se zbog dislokacije raspoređene tehnološke opreme metoda trenutnog zapažanja za utvrđivanje stepena iskorišćenja ( sa jednim snimačem ), teško može ili ne može primeniti.

Isto tako se smanjuju, u ovom slučaju, izgledi za dobijanje netačnih podataka usled monotonije i zamora ovim poslom pojedinačnog snimača u dugom periodu ( snimanje obično dugo traje ). Smanjuje se i napetost između radnika koji rade na snimanim mašinama i pojedinačnog snimača koja se u dugim periodima najčešće javlja.

Pri ovom pristupu metodi trenutnog zapažanja lakše se može primeniti centralna granična teorema sa stratifikovanjem uzorka, jer ovde možemo brže formirati više uzoraka, a samim tim brže dolazimo do normalne distribucije aritmetičkih sredina uzorka. U tom smislu će i greška brže dospeti u unapred ustanovljene granice.

Osnovni nedostatak skraćivanja perioda snimanja je što tako pojačavamo negativan uticaj periodičnog i sezonskog karaktera pojava.

Priprema za snimanje stanja podrazumeva iste radnje kao i u slučaju uobičajenog pristupa metodi trenutnog zapažanja.

U cilju praktične provere predloženog pristupa izvršena su snimanja na jednoj liniji za mehaničku obradu u preduzeću "Prva petoletka" u Trsteniku. Izabrana je linija na kojoj se mora održavati visok stepen iskorišćenja proizvodnih kapaciteta zbog relativno visokih zahteva u kasnijoj termičkoj obradi i relativno visokog škarta koji pri tom nastaje. Zbog ovih razloga na ovoj liniji je metodom trenutnog zapažanja skoro redovno praćen stepen iskorišćenja kapaciteta. Pri tom je u zadnjih nekoliko snimanja najmanji ustanovljeni stepen iskorišćenja kapaciteta iznosio 0,76. Ovaj stepen iskorišćenja kapaciteta je bio polaz za određivanje potrebnog broja snimanja ( obilazaka ) n sa unapred odabranom greškom od 5%:

$$n = 1600 \cdot \frac{1-2}{2} - 1600 \cdot \frac{1-0,76}{0,76} = 505$$

Kako se iz ranijeg iskustva zna da jedan snimač za jedno radno vreme može na ovoj liniji napraviti oko 60 snimaka, a mi smo planirali da snimanje izvršimo za tri dana to je dobijeno da će

dnevno trebati 169 snimaka a taj posao će moći da izvrše tri međusobno nezavisna snimača. Na osnovu iskustva stečenog praćenjem rada na toj liniji, radi dobijanja što verodostojnijih rezultata, odlučeno je da dani snimanja budu sreda, četvrtak i petak.

Snimanje je obavljeno i dobijeni su stepeni iskorišćenja kapaciteta dati u sledećoj tabeli:

dan snimač	1	2	3	kumulativno po snimaču
1	0,7768	0,8076	0,8052	0,7985
2	0,8036	0,7880	0,7988	0,7968
3	0,8048	0,8107	0,8036	0,8063
ukupno na dan	0,7951	0,8021	0,8025	
kumulativno za period	0,7951	0,7986	0,7999	

Dobijena je takođe i moguća greška u iznosu od 2,44% pa zaključujemo da se stepen iskorišćenja kapaciteta nalazi između 77,55% i 82,43%.

Zaključak je na kraju da eksperimentalno dobijeni rezultati potvrđuju opravdanost ovakvog pristupa primeni metode trenutnog zapažanja za utvrđivanje stepena korišćenja kapaciteta.

#### Reference:

- [1] Klanin, M.: Utvrđivanje stepena korišćenja kapaciteta, Naučna knjiga, Beograd, 1984.  
 [2] Radojičić, M.: Identifikacija stepena iskorišćenja kapaciteta u proizvodnji ureznika, Ekonomika 7-8, 1983. 53-55.

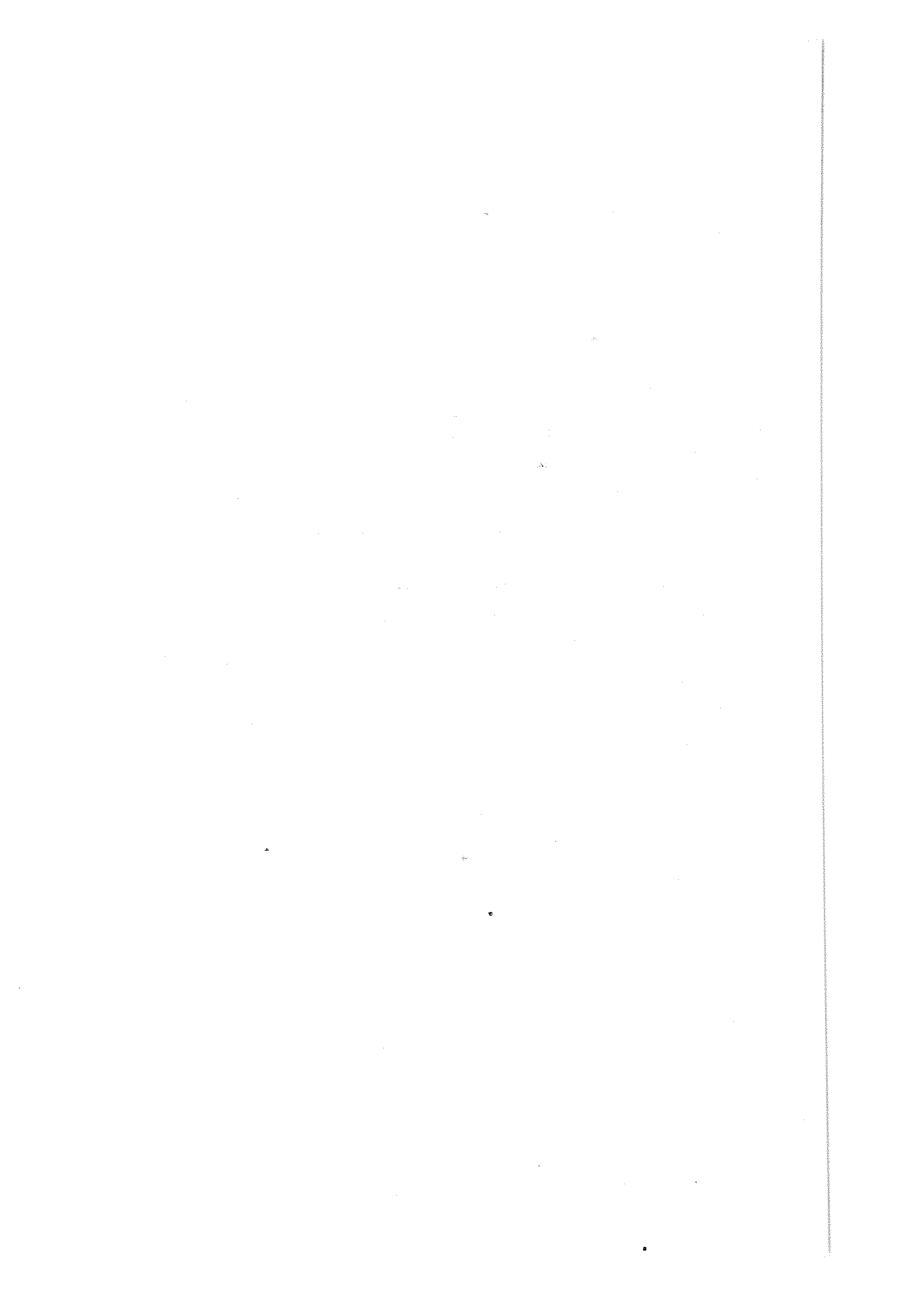
M. Žižović, M. Radojičić

Ein Zugang zur Anwendung der Methode momentaner Beobachtungen

#### Zusammenfassung

In der Arbeit ist der Zugang zur Anwendung der Methode momentaner Beobachtungen dargestellt, der eine schnelle Identifikation des Kapazitätsausnutzungsgrades ermöglicht.





Д.Јованоски, Љ.Николовски,  
В.Шубеска-Тодоровска, З.Алексов\*

СТЕПЕН НА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА НС-КАПАЦИТЕТИТЕ

1. УВОД

Незапирлив е трендот кон сè поголема примена на флексибилните производни системи (ќелии, линии и комплетни фабрики) што е резултат на нивните карактеристики кои кореспондираат со постојното преовладувачко присуство на мало и средно-серискиот тип во светската продукција; се чини дека е прашање само на време кога овие системи во потполност ќе ги потиснат поединечно и нефизички поврзаните сегменти од технолошките и производните системи.

Меѓутоа, повикувајќи се на искуствата (светски и домашни) при воведувањето на сите досегашни нови технологии (компјутерската, НС-машините алатки, роботите и др.) неодоимливи се претходните техноекономски анализи за оправданоста од нивно набавување. Во тој смисол се познати резултатите од студии во најразвиените земји во Европа кои во седумдесеттите години како нерентабилни ги покажаа инвестициите во работи и ФПС. Ова е особено важно за земји како што е нашата - чија инвестициска способност е релативно мала за да можат

-----  
\*/ Делчо Јованоски, д-р, дипл.инж.редовен професор на Машински факултет во Скопје, Карпош II, 66

Љубиша Николовски, дипл.инж.директор на производство во РО ФАМ при МЗ "Тито", Скопје ул.Перо Наков, 66

Виолета Шубеска-Тодоровска, м-р дипл.инж.асистент на Машински факултет во Скопје, Карпош II, 66

Звонко Алексов, дипл.ек., соработник за АОП, РО ФАМ при МЗ "Тито" Скопје, ул. Перо Наков, 66.

да се реализираат вакви, инвестициски интензивни системи. Ова секако не значи откажување од флексибилната технологија туку само објективно проценување на состојбата и можностите. Во тој контекст се сместени напорите кои се прават при Металски завод "Тито" во правец на развој сопствени флексибилни производни системи и тоа како за примена во своите производни погони така и за одредени надворешни корисници. Притоа, во соработка со Машинскиот факултет се дефинирани одредени етапи во работата на оваа комплексна проблематика како што се разни уводни анализи, методологија и техники за проектирање и др. Една од тие зацртани активности е и студијата (1) која треба да ја даде состојбата со искористувањето на капацитетите на NC-машините алатки како и посочи мерки за нивно поединечно подобро искористување, а истовремено да даде и релевантни податоци кои се потребни како влез во конципирањето и проектирањето на идните ФПС.

## 2. МЕТОДИ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА СТЕПЕНОТ НА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА NC-КАПАЦИТЕТИТЕ

Поставувајќи неколку основни критериуми како што се:

- висок степен на точност и поузданост на податоците,
- релативно краткотрајно снимање на состојбата,
- едноставност и можност за лесно споредување на резултатите и др.

се определивме за две методи и тоа:

- методата на моментални забележувања - ММЗ (2) и
- методата на интервју.

Сметаме дека со првата метода ќе се добијат квантитативни показатели за состојбата, а преку втората метода (прелиминарно и завршно) ќе се добијат согледувања и одговори на прашањата - зошто е некоја состојба таква каква што е снимена. Оттука може да се заклучи дека овие две методи се комплементарни, а од друга страна постои можност и за воспоставување корелација меѓу нив.

Не навлегувајќи во детали околу примената и на двете методи - тука нека биде само изнесено дека се водеше посебна сметка за периодот на снимањето, должината на снимање (број на забележувања), подученоста на екипата за снимање, обрасците (документите) за опфаќање на податоците. Нека биде изнесен и уште еден важен податок: идентификувани се 45 активности кои се снимани на работните места чии времетраења се опфаќаат со сите елементи на временската норма ( $T_{pz}, t_t, t_p, t_d$ ). Притоа, со оглед на целта која беше поставена пред ова истражување, дефинирани се неколку типа на извештаи кои се добиваат според претходно конципирани и развиени компјутерски програми и тоа (одејќи од глобалните кон деталните):

- извештаи за степенот на искористување на капацитетите (вкупни, по групи на машини со исти или слични технолошки можности),

- извештаи за искористеноста во секоја активна смена и секој работен час во неа,

- извештаи кои ја даваат структурата на секоја активност која припаѓа кон групата активности "работи" или "неработи" и тоа пак за разни нивоа на посматрање (поединечни машини, групи на слични машини, вкупно за сите машини).

### 3. АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ И СТЕПЕН НА НИВНА КОРЕЛАЦИЈА

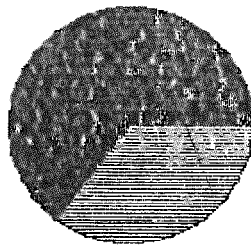
Анализата на резултатите добиени по пат на повеќедневни снимања и сместени во компјутерската меморија треба да отпочне со глобалните податоци дадени во табелата и дијаграмот на сл. 3.1:

Од глобалните резултати ("работи"- "неработи") дадени на сл.3.1 може да се забележи големата девијација околу средната вредност на степенот на искористување (64,71%) и тоа како кај поодделни машини така и меѓу производните линии односно групите на машини.

ISKORISTUVANJE NA KAPACITETITE NA - NC - PM  
 \*\*\*\*\*

ŠIFRA NA RM	OZNAKA NA MAŠINATA	OPIS	BR. NA RABO-		NEBARD		PROCENT	
			ZARFL	TI	TI	q%	PF	q/A
1	2	3	4	5	6	7	8	9
109	H-25	CENTAR OBRABOT.HORIZ	240	95	145	39.58	60.42	
110	VR-5NB	DUPČALKA NUMER.KOORD	240	154	86	64.17	35.83	
TOTAL ZA PRVA LINIJA			480	249	231	51.68	48.32	
214	H-15	CENTAR OBRABOT.HORIZ	240	200	30	84.67	15.33	
215	H-15B	CENTAR OBRABOT.HORIZ	240	145	95	60.42	39.58	
217	HP-4	CENTAR OBRABOT.HORIZ	240	164	76	68.33	31.67	
218	VOC-20	CENTAR OBRABOT.VERT.	240	159	81	66.25	33.75	
TOTAL ZA VTORA LINIJA			960	676	284	70.82	29.18	
324	ST-25/1500	CENTAR STRUGARSKI	240	171	69	71.25	28.75	
325	GU-2000NC	STRUG NUMERIČKI	240	211	29	87.92	12.08	
326	ST-30MC/1500	CENTAR STRUGARSKI	240	201	39	83.75	16.25	
327	ST-30MC/CH	CENTAR STRUGARSKI	240	0	240	0.00	100.00	
328	ST-30MC/1500	CENTAR STRUGARSKI	240	120	120	50.00	50.00	
TOTAL ZA TRETA LINIJA			1000	743	437	63.58	36.42	
544	MH-600C	GLODALKA NUMERIČKA	240	214	26	89.17	10.83	
545	MH-1000C	GLODALKA NUMERIČKA	240	117	123	48.75	51.25	
TOTAL ZA PETA LINIJA			480	331	149	68.96	31.04	
TOTAL ZA MAŠINAKA OBRABOTIVA			3120	2017	1103	64.71	35.29	

numericki masini



64.71  
raboti

35.29  
neraboti

Сл. 3.1. Основни показатели за искористување на капацитетите

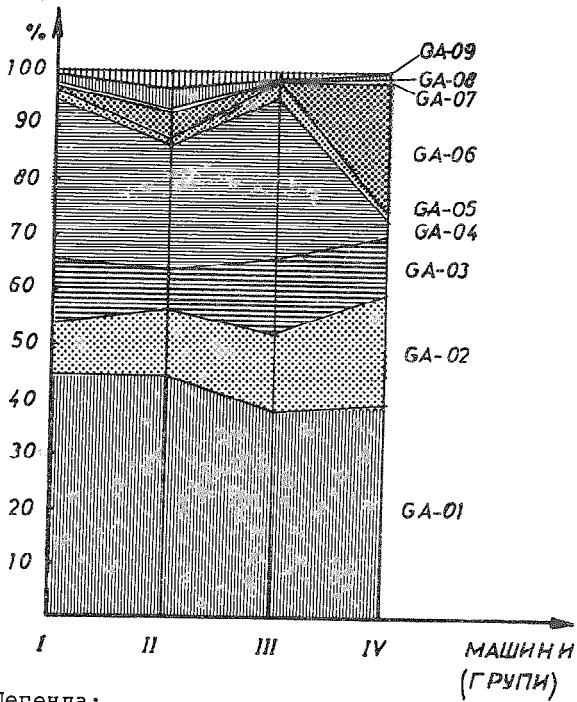
Притоа, потребно е едно мало појаснување: со овој степен на искористување на капацитетите под терминот "работи" се опфатени подготвително-завршното, технолошкото и помошното време но не и дополнителното време кое исто така влегува во нормата за работа; според ваквото посматрање и тумачење, степенот на искористување би бил поголем за околу 15% т.е. би изнесувал околу 75% - што сеуште не значи дека е добар.

Барајќи ги причините за ваквата состојба неминовно е посматрањето на резултатите дадени во табелата на сл.3.2 кои - заради подобра визуелна претстава - систематизирани во групи на активности, се дадени на сл. 3.3 која самата доволно зборува за учеството на поодделни загуби.

Како што претходно беше изнесено, со помош на ММЗ е снимена состојбата и добиени се резултати кои можат да се анализираат од повеќе аспекти. Од друга страна, методата на интервју која се спроведуваше независно од првата метода дава можност за (1) утврдување и објаснение на добиените резултати и (2) утврдување на причините и мерки за евентуално потребни акции. Не оптеретувајќи го овој текст и со добиените резултати од споредувањата, утврдена е релативно задоволувачка корелација меѓу двете методи со напомена дека кај извесни аспекти таа корелација не беше задоволителна.

KODIRANJE	RABOTNO VREME PO SVAKO RABOTNO MESTO I MC - PM													
	3120		1200			1200			240			480		
	BR	STR	BR6	BR6/B	BR6/R6	BR12	BR12/B	BR12/R12	BR21	BR21/B	BR21/R21	BR22	BR22/B	BR22/R22
1 SE OBRABOT. RABOTN. PREDMET	1336	42.93	528	44.00	16.93	536	44.17	16.79	90	37.50	2.97	100	79.17	6.03
GA01	1336	42.93	528	44.00	16.93	536	44.17	16.79	90	37.50	2.97	100	79.17	6.03
3 GITANJE NA DOKUMENTACIJA	26	0.83	4	0.33	0.17	4	0.33	0.17	6	2.50	0.19	12	2.50	0.30
5 PODESUVA/HEMUNA ALAT/PRIB	140	4.49	39	3.25	1.25	59	4.92	1.89	12	5.42	0.42	29	6.04	0.93
6 RABOTNIK ODI DA ZEMA ALAT	41	1.31	23	1.92	0.74	9	0.79	0.27	5	2.00	0.14	4	0.97	0.13
7 KISTENJE DEL/MAK. OD EPOM	53	1.36	12	1.20	0.79	12	1.00	0.70	5	2.00	0.14	24	5.00	0.77
9 KONTROLA NA PRUD NESTO	18	0.59	5	0.47	0.13	13	1.00	0.41	3	1.00	0.20	4	0.80	0.00
24 RABOTN. VRACA I ZEMA NALOG	14	0.45	2	0.17	0.00	5	0.42	0.14	4	1.67	0.17	3	0.47	0.10
33 RABOTNIKOT OSTRI ALAT	4	0.15	0	0.00	0.00	2	0.17	0.00	0	0.00	0.00	2	0.42	0.03
34 PRETHOD. PODOST. NA PARCELO	2	0.08	0	0.00	0.00	2	0.17	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
38 ZAGREVANJE NA MASHINATA	3	0.10	1	0.08	0.03	2	0.17	0.05	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
39 VNESUVANJE NA PROGRAM	70	2.24	22	1.87	0.71	30	2.50	0.70	0	0.00	0.00	10	3.75	0.28
42 SELEKTIRANJE NA DELOVITE	3	0.10	0	0.00	0.00	2	0.07	0.10	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
GA02	774	11.19	188	9.00	3.40	141	11.75	4.07	33	13.75	1.11	72	10.17	2.95
2 RABOTNIK. GO NERI PARCELO	97	3.11	42	3.70	1.35	71	3.50	1.73	10	4.17	0.70	14	2.92	0.45
4 STAVA/SINUL. PARCE NA MAE.	212	6.30	93	7.75	2.98	51	5.08	1.96	21	8.75	0.67	37	7.71	1.19
GA03	309	9.40	135	11.25	4.73	92	7.67	2.95	31	12.92	0.99	51	10.02	1.64
10 BEKANJE TRANSPORT. SREDST.	9	0.29	5	0.42	0.16	2	0.17	0.08	2	0.83	0.00	0	0.00	0.00
18 KVAR NA MASINA	647	20.74	326	17.17	10.45	257	11.42	6.24	70	24.17	1.80	5	1.25	0.19
22 SLUZBEN RAZGOVOR-SOSTAVEN	15	0.48	2	0.17	0.06	07	0.59	0.20	4	1.67	0.17	2	0.42	0.06
23 OBRZUV. NA MAE. I OKOLO MAE	30	0.96	12	1.00	0.70	8	1.50	0.70	7	1.75	0.40	7	1.84	0.72
GA04	704	22.47	345	10.79	11.00	274	12.87	8.78	67	17.17	1.41	15	7.17	0.48
8 FIZIOLOGSKI POTREBI	44	1.41	22	1.87	0.71	4	1.50	0.13	12	5.00	0.70	4	0.87	0.13
GA05	44	1.41	22	1.87	0.71	4	1.50	0.13	12	5.00	0.70	4	0.87	0.13
16 NEMA RABOTA	42	1.70	0	0.00	0.00	42	10.00	1.25	0	0.00	0.00	1	0.21	0.07
36 RABOTN. OPRAVDANO OTSAHEN	17	0.55	0	0.00	0.00	10	1.27	0.21	0	0.00	0.00	1	0.21	0.07
37 NEMA IPLASNY IYITORA SRENA	109	3.85	8	0.67	0.70	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	100	17.17	7.50
GA06	180	5.72	8	0.67	0.70	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	111	17.75	3.66
15 PREKINUV. ZAPOZNATA RABOTA	4	0.10	3	0.25	0.10	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	1	0.21	0.07
44 DEFEXI VO MATERIJALOT	2	0.08	0	0.00	0.00	2	0.47	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
GA07	6	0.17	2	0.25	0.10	2	0.47	0.00	0	0.00	0.00	1	0.21	0.07
11 NEJASEN RABOTILNJE. CRTEZ	3	0.10	1	0.09	0.07	1	0.09	0.07	0	0.00	0.00	1	0.21	0.07
12 NESODN. TEHNOLOGIJA/ALAT	20	0.44	0	0.00	0.00	20	1.17	0.04	1	0.21	0.07	3	0.70	0.00
14 NEMA ALAT/NAPRAVA	22	0.71	0	0.57	0.26	11	0.90	0.20	0	0.00	0.00	3	0.53	0.10
17 NEMA MATERIJAL	3	0.1	0	0.00	0.00	2	0.17	0.00	0	0.00	0.00	1	0.21	0.07
21 NEMA ULJE/EMULZIJA	10	0.30	0	0.57	0.26	1	0.09	0.07	0	0.00	0.00	1	0.21	0.07
31 NEMA PROGRAM ZA MC MASHIN	10	0.32	10	0.87	0.22	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
41 UTVRDEN GREBEN NC PROGRAM	21	0.67	7	0.53	0.22	9	0.75	0.29	0	0.00	0.00	5	1.04	0.16
GA08	89	2.85	24	2.93	1.29	44	3.67	1.41	0	0.00	0.00	11	2.29	0.75
25 RABOTN. NE DOZD. NA RABOTA	24	0.77	0	0.00	0.00	24	2.00	0.77	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
26 RABOTN. NE NA RAB. MESTO	32	1.07	0	0.67	0.20	13	1.70	0.59	3	1.25	0.10	3	0.57	0.10
27 NENAVRE. POG. /ZAVR. SO RAB.	3	0.10	1	0.09	0.07	2	0.17	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
28 NENAVR. POG. /ZAVR. SO FAUZD	6	0.19	3	0.25	0.10	0	0.00	0.00	3	1.25	0.10	0	0.00	0.00
29 NEPOTREBNI RAZGOVORI	12	0.38	3	0.25	0.10	0	0.67	0.26	0	0.00	0.00	1	0.21	0.07
30 NEDISCIPLINA	3	0.10	1	0.09	0.07	1	0.09	0.07	1	0.42	0.07	0	0.00	0.00
GA09	80	2.58	14	1.33	0.51	57	4.47	1.70	7	2.92	0.27	4	0.87	0.13
VKUPNO	3119	99.97	1199	99.92	38.44	1200	100.00	38.47	240	100.00	7.89	400	100.00	15.39

Сл. 3.2. Детален преглед и учество на поединечните и групирани активности



Легенда:

"работи"

- GA-01:  $t_t$
- GA-02:  $T_{pz}$
- GA-03:  $t_p$

"не работи"

- GA-04: организациски загуби
- GA-05: лични потреби
- GA-06: оправдани губитоци што може да се планираат
- GA-07: оправдани губитоци што не може да се планираат
- GA-08: неоправдани губитоци
- GA-09: недисциплина

Сл.3.3. Дијаграм на учеството на групите на активности



#### 4. ЗАКЛУЧОК

Следејќи ја потребата за утврдување на искористеноста на NC-капацитетите која има двострука цел: (1) преземање на акции за подобрување на состојбата и (2) утврдување на параметри релевантни како влез при проектирањето на ФПС - во произведен систем кој е заинтересиран и за двата аспекта (како корисник и производител на NC-машини и ФПС) се спроведени соодветни истражувања (снимања, компјутерска обработка и анализи). Резултатите и анализите наведуваат на заклучоци кои опфаќаат предлог-мерки за оперативно делување за подобрување на состојбите (на пр. дообучување на кадрите на сите нивоа, проектирање и изработка на специјални и универзални помагала и сл.), а од друга страна опфаќаат предлози за постудиозна анализа на одредени деликатни сегменти (на пр. прашањето за оптимална структура на временската норма, оптималност на режимите за обработка и сл.).

#### РЕФЕРЕНЦИ

- (1) Јованоски Д., Николовски Љ., Шубеска-Тодоровска В., Алексов З.: Степен на користење на NC-машините и мерки за неговот подобрување во РО ФАМ, студија, март 1989
- (2) Таборшак Д.: Студиј рада, "Научна књига", Загреб, 1987.

D.Jovanoski, Lj.Nikolovski  
V.Šubeska-Todorovska, Z.Aleksov

#### AUSNUZUNGSGRAD DER NC-KAPAZITÄTEN

#### Zusammensetzung

Den Bedarf zur Feststellung der Ausnutzung von NC-Kapazitäten zu folgen - das zwei Grundziele interscheidet:  
(1) Schritte vorzunehmen die zur Verbesserung des bestehendes Standes führen und (2) Feststellung der Parameter die als

input beim Projektieren von FFS relevant sind - in einer Firma die für beide Probleme sich interessiert (sowohl als Benutzer als auch als Hersteller von NC-Maschinen und FFS) entsprechende Untersuchungen (Aufnahmen, EDVA - Verarbeitung und Analyse) durchgeführt worden sind. Die Ergebnisse und die Analyse zur Folgerungen führen die Massnahmen zur operativen Aktion erfassen (z.B. zusätzliche Ausbildung der Arbeitskräfte in allen Ebenen, Konstruktion und Produktion von speziellen und universälen Hilfsmitteln usw.) sowie Vorschläge zur weiteren Untersuchungen bei manchen Problemen (z.B. die optimale Struktur der Bearbeitungszeit, Laufzeit, optimale Schnittwerte usw).



Živko R. Avramov\*

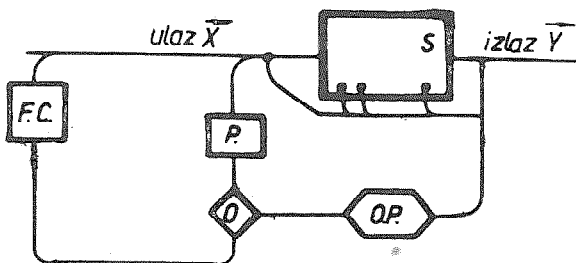
## FLEKSIBILNOST I ENTROPIJA PROIZVODNIH SISTEMA

## 1. UVOD

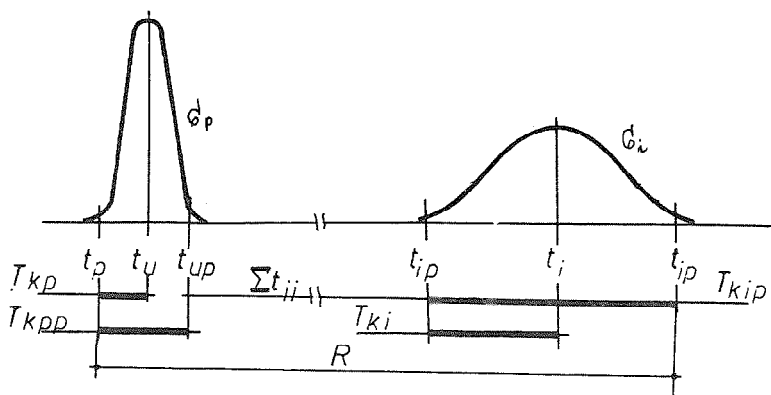
Pojam fleksibilnosti potiče od latinske reči "flexibilitas" što znači savitljivost, vitkost, međutim kao atribut uz proizvodni sistem opisuje njegovu sposobnost prilagođavanja "zahtevima okoline". Zahtevi okoline u opštem slučaju mogu biti programski i vremenski. Fleksibilnost proizvodnog sistema u programskom smislu podrazumeva sposobnost sistema da prihvati novi proizvodni program, dok fleksibilnost proizvodnog sistema u vremenskom smislu podrazumeva sposobnost sistema da prihvati značajnije promene dinamike i strukture proizvodnje iz postojećeg proizvodnog programa. Izgradnja programski fleksibilnih proizvodnih sistema jeste sadatak, pre svega, projekatnata novih sistema, jer podrazumeva, kako izbor opreme tako i projektovanje prostorne strukture, znači predstavlja problem čije je rešavanje u domenu upravljanja razvojem poslovno proizvodnih sistema. Udovoljavanje zahteva za vremenskom fleksibilnošću jeste u domenu upravljanja funkcionisanjem proizvodnog sistema i ujedno je i osnovna tema članka.

## 1.1. Definisanje problema

Primarni problem upravljanja funkcionisanjem proizvodnog sistema može se predstaviti pomoću Slike 1.



\* Mr Živko R. Avramov, dipl. inž. RO "FADIP BEČEJ" Industrijske 3o



Slika 1. Uz primarni problem upravljanja funkcionisanjem proizvodnih sistema

Ako vremensku fleksibilnost proizvodnog sistema definišemo kao:

$$f_{pv} = t_{ii} / R \dots\dots\dots 1$$

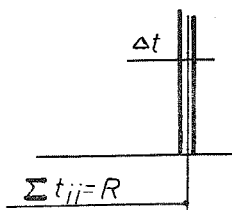
gde je (oznake na Slici 1):

- $t_p$  - vremenski trenutak naručivanja proizvoda
- $t_u$  - verovatni trenutak (najverovatniji) pripreme potrebnih resursa
- $t_{up}$  - vremenski trenutak koji označava da je priprema izvršena sa verovatnoćom od 0,99
- $T_{kp}$  - najverovatnije kašnjenje pripreme
- $T_{kpp}$  - vremenski period (kašnjenja) pri kome su resursi pripremljeni sa verovatnoćom 0,99
- $t_{ip}$  - vremenski trenutak pri kome bi proizvod po tehnološkim vremenima trebao biti izrađen
- $t_i$  - vremenski trenutak najverovatnijeg završetka proizvoda
- $t_{ip}$  - vremenski trenutak u kome je verovatnoća izrade proizvoda 0,99
- $T_{ki}$  - najverovatnije vreme kašnjenja izrade
- $T_{kip}$  - dodatno vreme (vreme kašnjenja) posle koga je verovatnoća izrade 0,99.

Primarni problem upravljanja funkcionisanjem proizvodnih sistema predstavlja egzistencija vremena  $T_{kpp}$  i  $T_{ki}$ ,  $T_{kip}$  u okviru članka će se tretirati samo vremena  $T_{ki}$  i  $T_{kip}$ .

## 1.2. Definisane cilja

Primarni cilj članka jeste rasvetljavanje postavljeneog problema, kao i minimizacija  $G$  i odnosno  $T_{ki}$  i  $T_{kip}$ .



Slika 2. Cilj članka

### 1.3. Definisanje hipoteza

Osnovne hipoteze, čija će se istinitost pokušati dokazati, jesu sledeće:

- relativni nivo entropije proizvodnog sistema određuje oblik raspodele verovatnoće izlaza proizvoda,
- samo smanjenjem entropije proizvodnje može se smanjiti standardna devijacija  $\sigma$ .

## 2. ISTRAŽIVANJE

### 2.1. Entropija eksperimenta

Entropija kao mera neodređenosti nekog eksperimenta koji ima "n" ishoda, čije su verovatnoće  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , a čiji je zbir  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ , izračunava se primenom poznate Šenonove relacije:

$$H(P) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_a p_i \dots\dots\dots 2$$

### 2.2. Entropija složenog eksperimenta

Neka je složen eksperiment "S" sastavljen od niza prostih eksperimenata  $p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_k$ , koji imaju  $n_1, n_2, \dots, n_j, \dots, n_k$ , ishoda sa verovatnoćama  $p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1i}, \dots, p_{1n_1}, \dots, p_{j1}, p_{j2}, \dots, p_{ji}, \dots, p_{jn_j}, \dots, p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{ki}, \dots, p_{kn_k}$  respektivno. Tada neodređenost složenog eksperimenta S izračunavamo:

$$H(S) = H(p_1) + H(p_2/p_1) + \dots + H(p_k/p_1 \dots p_{k-1}) \dots\dots\dots 3$$

gde je:

$H(p_j/p_1 \dots p_{j-1})$  - entropija eksperimenta  $p_j$  po realizaciji eksperimenta  $p_1, p_2, \dots, p_{j-1}$ , naziva se i uslovna entropija eksperimenta  $p_j$ .

Ukoliko su eksperimenti  $p_1 \dots p_j \dots p_k$  međusobno nezavisni, tada se entropija složenog eksperimenta izračunava:

$$H(S) = -\sum_{s=1}^{s=N} l_s \log_a l_s \dots\dots\dots 4$$

gde je:

$$N = \prod_{i=1}^K n_i - \text{broj mogućih lanaca ishoda eksperimenta}$$

$$P_1 \cdot P_2 \cdots P_j \cdots P_K$$

$l_s$  - verovatnoća  $s$ -tog lanca.

Takođe, relaciju 4 je moguće jednostavnije napisati u obliku:

$$H(S) = \sum_{j=1}^K H(P)_j \dots\dots\dots 5$$

### 2.3. Entropija operacije

Analizom eksperimenta "izvođenje operacije" mogu se uočiti:

Izvođenje operacije (O) predstavlja složen eksperiment gde su eksperimenti činiloci pravovremeno obezbeđenje resursa i njegovo sadržavanje u tolerantnoj zoni svoje funkcije cilja u unapred određenom vremenu izvođenja operacije  $t_{ii}$ . Resursi mogu biti materijal, alat, energija, oprema, itd.

Eksperimenti činiloci za istraživanje imaju dva interesantna ishoda i to posmatrani resurs se nalazi u tolerantnoj zoni svoje funkcije cilja (verovatnoća  $v_1$ ) ili se ne nalazi (verovatnoća  $1-v_1$ ).

Eksperimenti činiloci su međusobno nezavisni.

Na osnovu relacija 4 i 5 sledi:

$$H(O) = - \sum_{i=1}^g c_i \log_a c_i \dots\dots\dots 6$$

gde je:

$g$  - broj potrebnih resursa za izvođenje operacije

$c_i$  - verovatnoća  $c_i$ -tog lanca

$$H(O) = \sum_{i=1}^g H(R)_i \dots\dots\dots 7$$

gde je:

$H(R)_i$  - entropija  $g$ -tog resursa

### 2.4. Entropija tehnološkog ciklusa (radnog naloga)

Jasno je da neizvesnost izvođenja radnog naloga odražava neizvesnost izvođenja njegove poslednje operacije, a da nju čine sledeće komponente:

- entropija izvođenja poslednje operacije posmatrane nezavisno od ostalih operacija  $H'(K.t_p.m.f)$
- entropija početnog trenutka izvođenja poslednje operacije koju

pak čine:

- Entropija prethodnih operacija istog ciklusa, koja obzirom na već iznesen stav iznosi  $H(K.t-1.m.f)$
- Entropija drugih tehnoloških ciklusa koji se izvode pre poslednje operacije tretiranog radnog naloga na istom tehnološkom sistemu, a koju odražava entropija prethodne operacije  $H(K.t.m.f-1)$ .

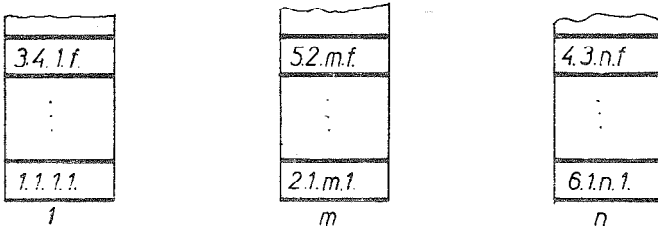
Na osnovu rečenog možemo napisati rekurentnu relaciju za određivanje entropije radnog naloga.

$$H(K) = H(K.t_p) = H'(K.t_p.m.f) + H(K.t_p-1.m.f) + H(K.t.m.f-1) \dots 8$$

gde je:

- $K$  - oznaka radnog naloga,  $t$  - oznaka rednog broja operacije  $K$ -tog naloga,  $m$  - oznaka tehnološkog sistema,  $f$  - oznaka rednog broja operacije koja se izvodi na  $m$ -tom tehnološkom ciklusu.

### 2.5. Entropija tehnološkog sistema (radnog mesta)



Slika 3. Deo plana proizvodnje

Pozmatrajući uprešćen prikaz plana proizvodnje (Sl. 3) i uzimajući u obzir način formiranja relacije za entropiju tehnološkog ciklusa, sledi:

$$H(m) = H(K.t.m.hm) \dots \dots \dots 9$$

gde je:

- $H(m)$  - entropija  $m$ -tog radnog mesta
- $hm$  - oznaka poslednje operacije koja se izvodi u okviru planskog perioda na  $m$ -tom radnom mestu.

Ne narušavajući suštinu a iz didaktičkih razloga, usvojicemo:

$$H'(m) = \sum_{f=1}^{f=hm} H'(K.t.m.f) \dots \dots \dots 10$$

Broj mogućih ishoda plana radnog mesta, uvažavajući relacije 4 i 6, iznosi:

$$S(m) = 2^{\sum hm} \dots \dots \dots 11$$



## 2.6. Entropija plana proizvodnog sistema

Kako izvođenje plana proizvodnog sistema predstavlja složen događaj, čiji su događaji činioci planovi radnih mesta, sledi:

$$H'(P.S) = \sum_{m=1}^{m=n} H'(m) \dots\dots\dots 12$$

Broj mogućih ishoda u proizvodnom sistemu sa "n" radnih mesta koja su raspoređena na procesnom principu i time međusobno povezana posredstvom tehnoloških ciklusa, iznosi:

$$S(PS) = 2^{\sum_{hm} 1} \dots\dots\dots 13$$

ili ako usvojimo:

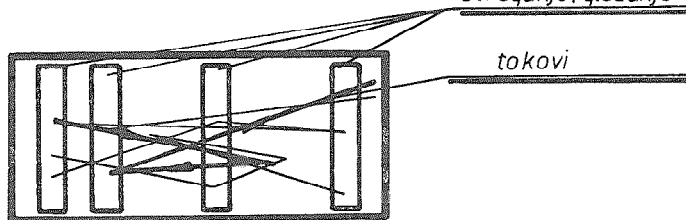
$$\overline{hm} = \frac{\sum_{hm} 1}{n} \dots\dots\dots 14$$

$$S'(PS) = 2^{\overline{hm} n} \dots\dots\dots 15$$

## 2.7. Entropija i vremenska fleksibilnost proizvodnog sistema

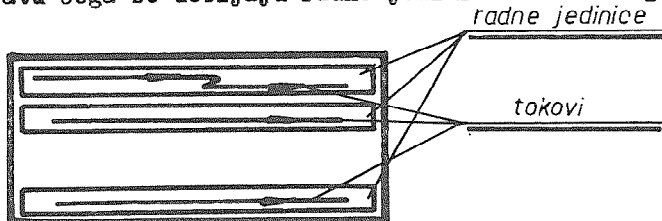
Istraživanja<sup>9</sup> u Jugoslovenskoj privredi pokazuju da je moguće identifikovati dva načina postavljanja proizvodnih sistema (u mašingradnji i proizvodnji saobraćajnih vozila) i to:

- konvenkcionalni, koji bazira na procesnom principu struqanje, qodanje...



Slika 4. Uz konvenkcionalni prilaz

- nekonvenkcionalni prilaz, koji bazira na produbljenoj analizi sistema sa ciljem grupisanja predmeta rada i opreme, u rezultatu čega se dobijaju radne jedinice autonomnog tipa. radne jedinice



Slika 5. Uz nekonvenkcionalni prilaz

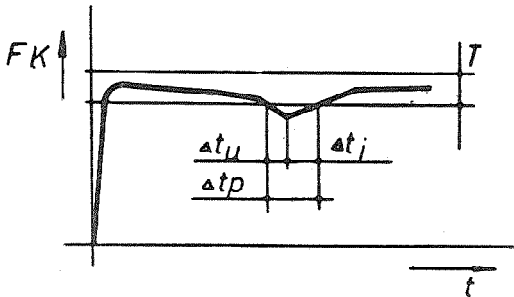
<sup>9</sup>Institut za industrijske sisteme Novi Sad

Istraživanja takođe pokazuju da je dominantan konvencionalni prilaz čiji je mogući broj ishoda definisan relacijom 15 ( $g=3$ ,  $hm=10$ ,  $n=80$ ,  $S(PS)=2^{2400}$ ).

Broj mogućih poremećaja je:

$$BP^R = S'(PS) - 1 \quad S'(PS) \dots\dots\dots 16$$

Eliminisanje poremećaja može se objasniti Slikom 6.



Slika 6. Eliminisanje poremećaja

$t_u$  - vreme uočavanja poremećaja

$t_i$  - vreme otklanjanja poremećaja

Bez sumnje dužina poremećaja  $t_p$  zavisi od kompleksne količine utrošenog upravljačkog rada, koja u neuređenim tokovima po isходу iznosi:

$$U'_0 = U_u / S'(PS) \dots\dots\dots 17$$

gde je:

$U_u$  - ukupan upravljački rad

i reprodukuje  $\Delta t_p^u$ .

Kod uredenih tokova odnosno postavljene proizvodnje po predmetnom principu, broj mogućih ishoda iznosi:

$$S''(PS) = \sum_1^K S(ARJ)_i = \sum_1^K 2^{g \cdot hm} c_i \dots\dots\dots 18$$

gde je:

$c_i$  - broj tehneleških sistema u g-toj ARJ

$K$  - broj ARJ

(primer:  $g=3$ ,  $hm=10$ ,  $n=80$ ,  $K=10$ ,  $S''(PS)=2^{303}$ ).

Analogno relaciji 17, može se napisati:

$$U'_0 = U_u / S''(PS) \dots\dots\dots 19$$

koji reprodukuje  $\Delta t_p^u$ .

Pod pretpostavkom da ukupni upravljački rad ostane isti (broj radnika koji se bave upravljanjem kao i oprema), a obširem da je  $S'(PS) \ggg S''(PS)$ , (u navedenom primeru  $2^{2097}$  puta)

proizilazi  $U'_0 \lll U''_0$ , što u rezultatu daje

$$\Delta t_p^n \ggg \Delta t_p^u \dots\dots\dots 20$$

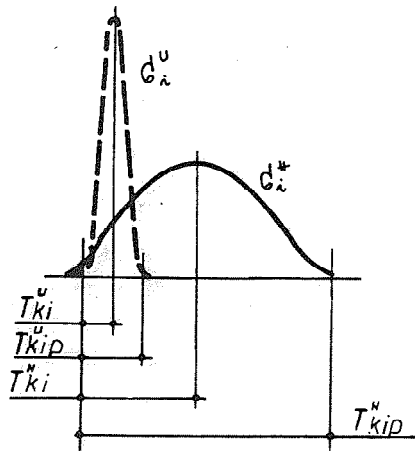
Kako zbir vremena u otkazu determiniše ukupna kašnjenja ( $T_{Ki}$ ,  $T_{Kip}$ ) odnosno važi

$$T_{Ki} = f \sum_1^S \Delta t_{pi} \dots\dots\dots 21$$

Tada je jasno da važi

$$T_{Ki}^n (T_{Kip}^n) \ggg T_{Ki}^u (T_{Kip}^u) \dots\dots\dots 22$$

odnosno Gausova kriva transformiše svoj oblik i položaj na sledeći način:



Slika 7. Prikaz ispunjenja cilja članka

### 3. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir da je entropija proizvodnog sistema, naročito u delu 2 tačka 7, bila interpretirana posredstvom broja mogućih ishoda, što je prihvatljivo ukoliko su raspodele verovaoća podjednake, dokazana je istinitost postavljenih hipoteza. Naći da metodološki postupak dobijanja, kao i sama relacija 22 svojevrsan način ilustruju postizanje primarnog cilja članka. Iako pri prikazu vrednovanja članka treba zapaziti da istraživanja Komovišu, po znanju autora, originalni put izučavanja i projekovanja složenih proizvodnih sistema, posredstvom njegove merenja, entropije, čime isti stavlja pod lupu naučne i stručne kritike odnosno doprinosi ili njegovoj verifikaciji čime otvara mogućnost objašnjenja širokog spektra fenomena koji se javljaju

u proizvodnim sistemima ili ga pak ista kritika proglasi ne prihvatljivim.

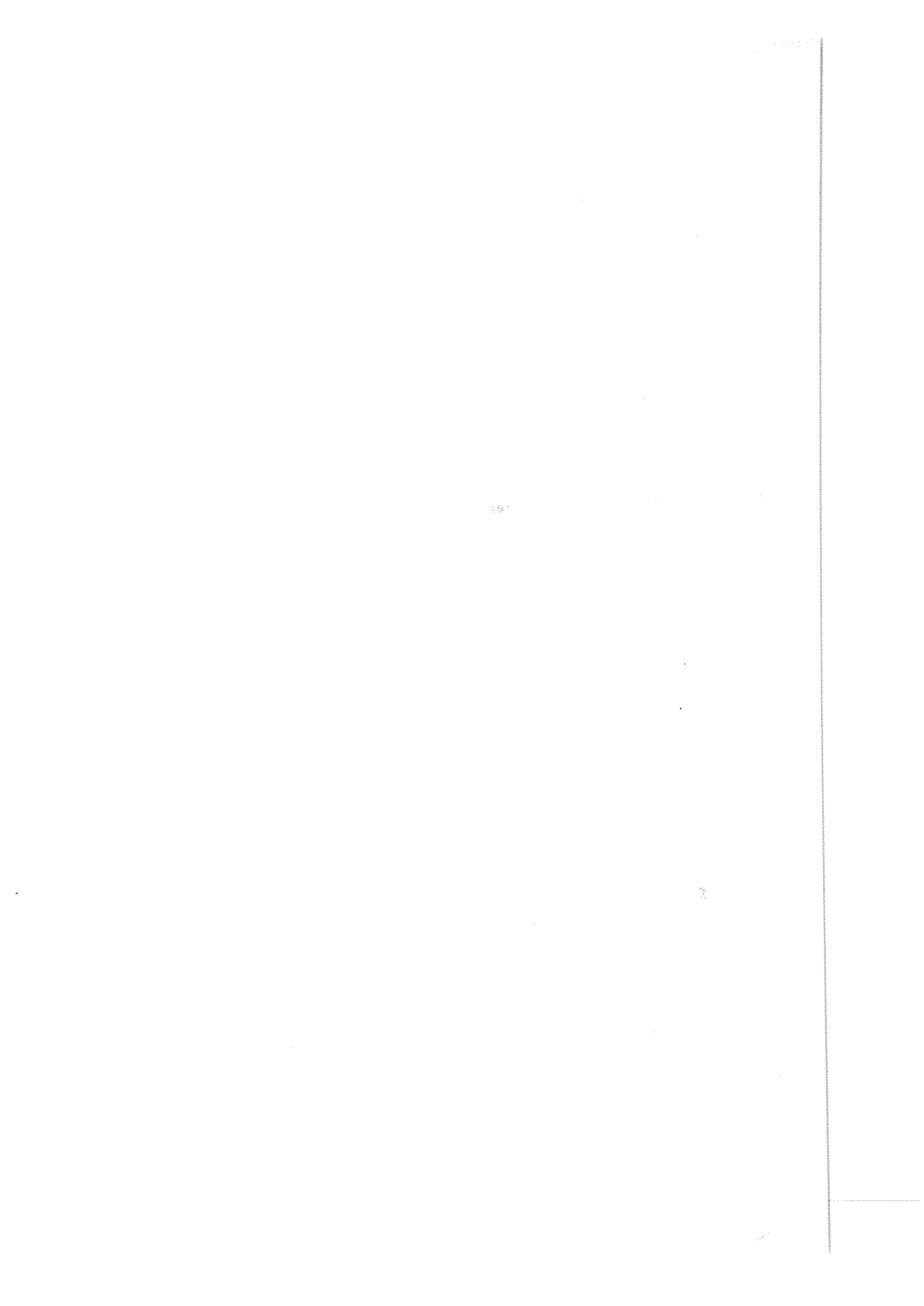
#### 4. REFERENCE

1. D.M. Zelenović: Osnovi teorije proizvodnih sistema, FTN, Novi Sad, 1976.
2. D.M. Zelenović: Konceptije u razvoju proizvodnih sistema povišenog stepena efektivnosti, FTN, Novi Sad, 1986.
3. D.M. Zelenović: Upravljanje proizvodnim sistemima, Naučna knjiga, Beograd, 1984.
4. D.M. Zelenović: Projektovanje proizvodnih sistema, Naučna knjiga, Beograd, 1986.
5. Ž.R. Avramov: Magistarski rad, Novi Sad, 1987.
6. Ž.R. Avramov: Nekonvencionalni prilaz upravljanju proizvodnim sistemima, JUPITER konferencija, 1988.
7. Ž.R. Avramov: Entropija i zalihe u proizvodnim sistemima, časopis PRODUKTIVNOST, 1988.

Ž.R. Avramov

#### FLEXIBILITÄT UND ENTROPIE DES HERSTELLUNGSSYSTEM

Anlass, primäre problem, der die arbeit inisiert hat ist ohne zustimmung notigen und tatsächlichen flexibilität herstellungssystem, als nicht umgehende eigenschaften effektvolle herstellungssystem, forschungsziel, im arbeitsumfang, ist die ratprobe für erklärung entstandene problemen, durch massnahmevermittlung gegen objektiver unregelmässigkeit vom herstellungssystem. Grundsätzliche voraussetzungen, deren aushaltigkeit während der arbeit beweist versucht wird, sind die behauptung: Relative entropie niveau vom herstellungssystem anordnet das flexibilität. Nur gegen vermindering relative entropie vom herstellung system kann sein flexibilität vergrössert werden. Die forschung wahren der arbeit, probieren das mögliches weg zeigen, richtung egsakte studium vom herstellungssystem durch seine grosse, messen situation, das heist unbestimmheit.



---

## 22 ЈУГОСЛОВЕНСКО СОВЕТУВАЊЕ ЗА ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

ОХРИД 24 - 26 мај 1989 г.

---

R.Žujović, dipl.ing.  
R.Nikolić, dipl.ing.  
M.Kulušić, dipl.ing. i drugi

### PRAĆENJE PROIZVODNJE REZERVNIH DJELOVA U ŽELJEZARI "BORIS KIDRIČ" UZ POMOĆ RAČUNARA

Proces proizvodnje rezervnih djelova svakim danom dobija sve više na značaju, jer se u strategiji obezbijedjenja fabrike rezervnim djelovima uzima orijentacija što većeg sopstvenog učešća, to jest, težnja da se osvoji izrada uvoznih i R/D koji se nabavljaju sa domaćeg tržišta u što većoj mjeri.

Sagledavajući značaj i kompleksnost procesa proizvodnje rezervnih djelova javila se potreba za izradom informacionog sistema u okviru ovog poslovnog procesa, koji će obezbijediti nadzor i upravljanje na svim aktivnostima pripreme, planiranja, praćenja izrade kao i obračuna troškova.

Na osnovu takvih potreba postavljen je zadatak projektnom timu, da koristeći mogućnosti računarske opreme koju posjeduje željezara unaprijedi postojeći sistem i obezbijedi informacije na svim nivoima u okviru poslovnog procesa kao i integralnu vezu sa sistemom kontrole i upravljanje zalihama rezervnih djelova.

Projektni tim je bio sastavljen od ključnog osoblja sa funkcijom rukovođenja i odlučivanja u procesu proizvodnje R/D i projekatanata za automatsku obradu podataka u elektronskom računskom centru.

Kao krajnji ciljevi koji su postavljeni projektnom timu su rešavanje sledeće problematike:

---

Ostali članovi projektnog tima:

Vukasojević Miomir, dipl.ing. Janković Vljajko, dipl.ing. Delić Milenko, dipl.ing i Šimun Vukosav.

- povećanje korišćenja kapaciteta za izradu uz obezbedjenje ravnomjerne uposlenosti,
- zadovoljenje zahtjeva naručilaca,
- ostvarenje boljih ekonomskih efekata proizvodnje. Informacioni sistem koji služi ostvarivanju ovih ciljeva treba da obuhvati sledeće funkcije:
- formiranje i održavanje tehnološke dokumentacije (tehnološke matrice, normativi materijala i vremena i kapaciteti),
- planiranje proizvodnje,
- ispravnost postrojenja,
- kontrola zaliha alata i pribora,
- lansiranje radne dokumentacije,
- raspoređivanje poslova (nalozi za rad),
- praćenje izvršenja (nadzor radnih naloga),
- obračuni R/N i radnika

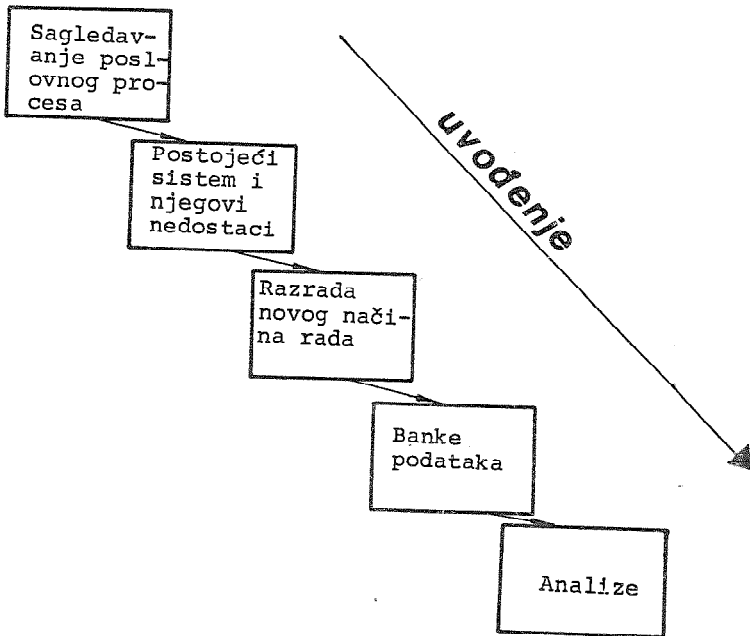
Metodologija koju je koristio projektni tim tokom izrade projektnog zadatka se bazira na nekim osnovnim principima i teoretskim postavkama.

Prije svega proces proizvodnje R/D se sagledava kao poslovni sistem kroz njegove osnovne ciljeve, probleme i aktivnosti koji služe ispunjavanju tih ciljeva.

Obrada podataka, odnosno sistem protoka informacija baziran na AOP-a se posmatra kao sastavni dio poslovnog procesa koji je vrlo važan za njegovu opštu efikasnost i predstavlja značajnu i vremenom sve važniju kariku u lancu odvijanja procesa.

Informacioni sistem treba da obezbijedi elemente za planiranje i praćenje koje se svodi na upoređivanje stvarnih podataka sa planiranim i donošenje odluka koje vode aktivnosti ka cilju koji je zadatkom definisan.

Aktivnosti na izradi projektnog zadatka mogu se grupisati po segmentima koji su niže prikazani:





SPECIFIKACIJA PROCESA PROIZVODNJEREZERVNIH DJELOVA

Prihvatanje narudbže i propisivanje tehnološkog postupka

- kontrola tehničke dokumentacije
- otvaranje radnog naloga
- specificiranje materijala
- izbor postrojenja
- opis tehnologije
- planiranje specijalnih alata
- normiranje
- umnožavanje tehnološke dokumentacije

Operativno planiranje i lansiranje radne dokumentacije

- planiranje izrade
- distribuiranje dokumentacije
- praćenje zauzetosti
- lansiranje radne dokumentacije
- godišnji izvještaj o nezavršenoj proizvodnji

I z r a d a

- praćenje proizvodnje
- prosječni mjesečni prebačaj norme

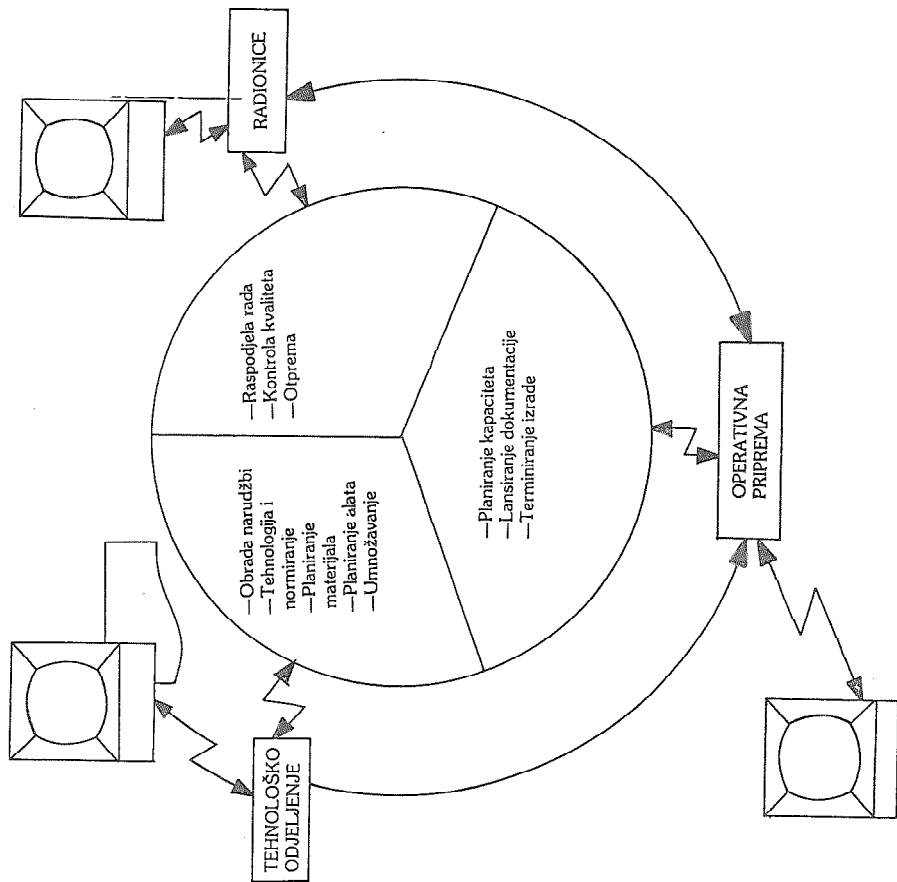
Kontrola kvaliteta

- ulazna kontrola
- međufazna kontrola
- završna kontrola

Otprema sa predajom

- prikupljanje dokumenata
- ispisivanje otpremnice
- primopredaja

ON — LINE SISTEM PROIZVODNJE R/D



Obezbeđenje alata i pribora

- uvid u stanje
- ispostavljanje pogonskih narudžbi
- praćenje realizacije
- evidentiranje prispjeća

Analitičkim sagledavanjem svih nedostataka na aktivnostima razrade tehnologije, obrada narudžbi, štampanju i lansiranju radne dokumentacije, planiranju, kontroli, otpremi, obračunu radnika i radnih naloga proizašao je koncept novih rešenja uz podršku AOP-a sa svim svojim efektima.

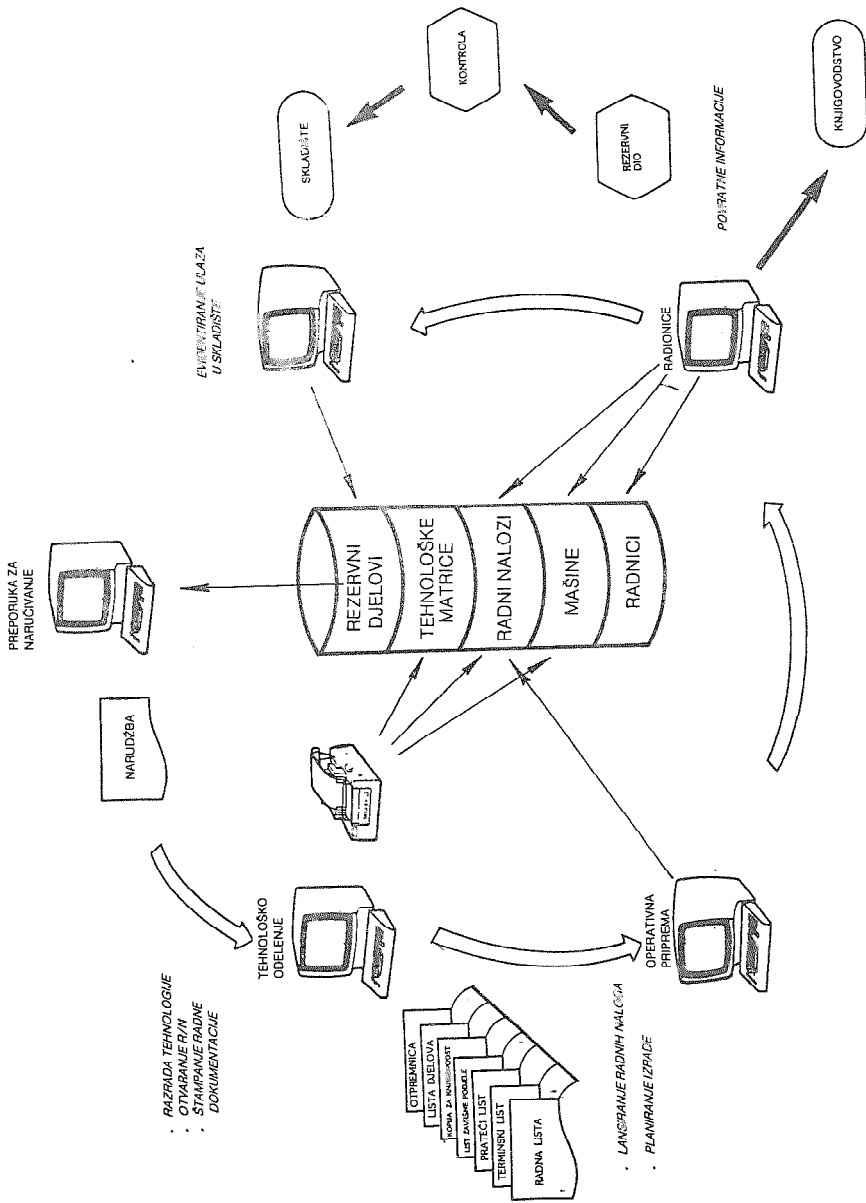
Projekat se zasniva na bankama podataka: rezervnih djelova tehnoloških postupaka, mašina i opreme, radnika i radnih naloga sa svojom logičkom povezanošću.

Uvodjenjem AOP-a i organizacione opreme (terminala i štampača/ stvoreni su uslovi da se propisivanje tehnoloških postupaka i normiranje izvodi direktno na terminalima, čime su eliminisani neki obrasci, koji su korišćeni u dosadašnjoj manualnoj organizaciji.

Izradjeni su odgovarajući programi tako da svi podaci nezavisno od tretmana narudžbe u svojoj tehnološkoj obradi "idu" preko terminala.

Prethodnom obradom i unošenjem tehničkih karakteristika mašina svake organizacione cjeline, daju mogućnost tehnologu da može koristiti date podatke kod propisivanja tehnološkog postupka.

Isto tako obradjeni su i pregledi raspoloživog reznog, steznog i mjernog alata radi utvrđivanja optimalnih režima rada i izračunavanja vremena izrade.



Način rada „Proizvodnja R/D“

Izradom jedinstvenog obrasca uprošćen je sistem umnožavanja tehnološke dokumentacije.

Prilagodjavanjem obrasca na štampaču se umnožava kompletna tehnološka dokumentacija /radne liste, terminalski list, prateći list, list završne podjele i otpremnica/. Ovim postupkom eliminisan je dio postojeće dokumentacije, izmijenjeno formiranje i čuvanje matrica i sistem umnožavanja tehnološke dokumentacije.

Značajne su uštede u materijalu i radnoj snazi, a iz upotrebe su eliminisana organizaciona sredstva za čuvanje original matrica i uređjaj za umnožavanje.

U dijelu planiranja i praćenja proizvodnje koje se zasniva na pravovremenom registrovanju zahtjeva i povratnih informacija iz procesa, omogućeno je:

- Odredjivanje roka početka i završetka operacija izrade datog dijela i roka ukupne izrade dijela R/N,
- Odredjivanje početka i završetka svake pojedinačne operacije koje su predviđene tehnološkim postupkom izrade datog dijela imajući u vidu redosled i radna mjesta na kojima se vrši njihovo izvodjenje,
- Optimalno korišćenje kapaciteta svih radnih mjesta unutar radne jedinice ili određene organizacione cjeline,
- Ostvarivanje maksimalnog kontinuiteta u realizaciji proizvodnih zadataka
- Obezbjedjenje povratnih informacija iz proizvodnje radi sagledavanja planiranih i ostvarenih pokazatelja,
- Lansiranje operacija u proizvodnju po prioritetu, za koje su ispunjeni uslovi potpune pripremljenosti,

- praćenje proizvodnih zadataka putem obezbjedjenja stalnog uvida u stanje planiranih i ostvarenih zadataka,
- obezbjedjenje pregleda za praćenje izvršenja normi
- obezbjedjenje pregleda za praćenje zastoja po bilo kom osnovu,
- obezbjedjenje pregleda i podataka o korišćenju kapaciteta,
- obezbjedjenje pregleda i podataka o raspoloživoj radnoj, snazi po radnim mjestima,
  
- u operativnoj pripremi se formira i prati pregled svih radnih naloga, (otvorenih naloga u opticaju, kao i realizovanih),
- praćenje pravovremene i pune uposlenosti radioničkih kapaciteta,
- praćenje dnevnih učinaka i poentaže radnika
- praćenje uposlenosti i stepena opterećenosti kapaciteta

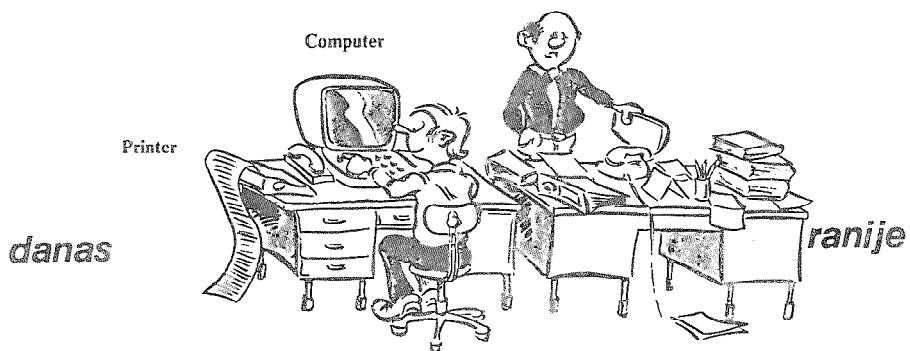
Projekat se temelji na dva osnovna sistemska elementa koji su podržani najnovijim načinom obrade podataka:

- na bankama podataka, zajedničkim za sve korisnike informacionog sistema
- na korišćenju terminalskih uređjaja koji korisnicima omogućavaju direktan pristup do podataka, memorisanih u bankama podataka.

#### Z A K L J U Č A K:

Sva projektna rešenja u potpunosti su našla primjenu u praksi i dala očekivane efekte.

Ista su u eksploataciji pune dvije godine, oslobođena svake suvišnosti i u potpunosti prihvatljiva za korisnika.



Kvanticifirati efekte jednog ovakvog sistema je veoma teško, jer se isti uglavnom mogu predvidjati, odnosno procjenjivati kroz sagledavanje primjene rešenja po novom načinu rada, odnosno poboljšanja koja proizilaze iz otklanjanja ili umanjenja ranijih teškoća.

M. Milojević, V. Milačić, R. Uzunović \*)

JUGOSLOVENSKI KONCEPT RAZVOJA FLEKSIBILNIH  
PROIZVODNIH TEHNOLOGIJA I AUTOMATIZOVANIH FABRIKA

1. UVOD

U radu se daju osnovne informacije o najvećem jugoslovenskom projektu i programu razvojno-eksperimentalnih istraživanja u oblasti novih proizvodnih tehnologija, koji je na konkursu polovinom 1988. godine dobio podršku Saveznog komiteta za nauku, tehnologiju i informatiku. Projekat pod nazivom "Fleksibilne proizvodne tehnologije i fleksibilne automatizovane Fabrike" [ 2 ] podržava se u narednih pet godina značajnim sredstvima Saveznog fonda za podsticaj tehnološkog razvoja Jugoslavije. Osnovni cilj ovoga Fonda je obezbedjenje uslova za realizaciju Strategije tehnološkog razvoja SFRJ [ 1 ] .

Inicijatori za formiranje ovog projekta bili su Industrija IVO LOLA RIBAR (LOLA Institut) i Mašinski fakultet - Beograd. U projektu učestvuje 20 vodećih jugoslovenskih proizvodnih organizacija, osam naučno-istraživačkih Instituta i osam Fakulteta, iz svih republika. Koordinator projekta je Industrija IVO LOLA RIBAR - LOLA Institut.

2. MOTIVI FORMIRANJA ZAJEDNIČKOG PROJEKTA

Osnovni motiv za konstituisanje i realizaciju ovog projekta proističe iz dugoročnih razvojnih programa jugoslovenskih proizvođača (alatnih mašina, računarskih upravljačkih sistema i komponenata) i činjenice da se samo ulaganjem u povećanje fonda znanja i revitalizacijom proizvodnih programa, njihovim usavršavanjem i daljim razvo-

\*) Prof.dr Mihailo Milojević, dipl.ing., Predsednik poslovnog odbora SOUR Industrije IVO LOLA RIBAR, Beograd, Bulevar Revolucije 84

Prof.dr Vladimir Milačić, dipl.ing., Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80

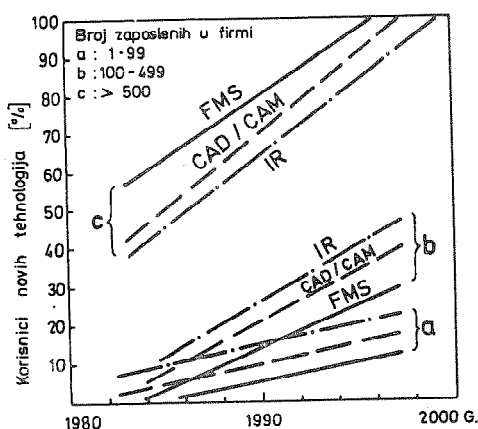
dr Ratko Uzunović, dipl.ing., v.d. Direktor LOLA Instituta, Beograd, Kneza Višeslava 70/a.



jem, može ostvariti skokovito kretanje u pravcu izgradnje nove generacije fabrika. Samo na ovaj način i uz učešće u međunarodnoj naučnotehničkoj saradnji može se obezbediti međunarodna konkurentnost ovih programa i povećanje izvoza pojedinih modula ili kompletnih fleksibilnih proizvodnih sistema.

Za realizaciju programa međunarodne naučno-tehničke saradnje neophodno je imati i neprekidno stvarati adekvatne naučne i stručne kadrove, što je, takodje, jedan od značajnih motiva.

Uspešna realizacija ovog programa daje šansu jugoslovenskoj mašingradnji kao korisniku novih fleksibilnih proizvodnih tehnologija, da dodje do savremenih i skupih proizvodnih sistema na domaćem tržištu, čime će obezbediti konkurentnost svojih proizvoda u svetskoj podeli rada u pogledu: kvaliteta, rokova isporuke i cene.



Sl. 1. Trendovi korišćenja novih proizvodnih tehnologija u najrazvijenijim zemljama.

radnih centara u okviru FMS, CAD/CAM - sistema i industrijskih robota-IR, na kojima bazira automatizacija proizvodnih procesa. Stanje i trendovi korišćenja ovih novih tehnologija u USA i najrazvijenijim zemljama pokazani su na slici 1. Zapaža se da procenat firmi koje koriste nove tehnologije zavisi od njihove veličine (broja zaposlenih). Na osnovu dosadašnjih trendova, sa slike 1 se može postaviti prognoza da posle 1995. godine u najrazvijenijim zemljama neće postojati ni jedna firma (c) preko 500 zaposlenih a da ne primenjuje ove tehnologije, dak će takodje značajno porasti njihova primena i u manjim firmama (a) i (b). Ovo su važna upozorenja kako za proizvođače tako i za korisnike fleksibilnih proizvodnih tehnologija u manje razvijenim zemljama. To može biti put za sustizanje najrazvijenijih, utakmicu na

Razvoj savremenih proizvodnih sistema odvija se u pravcu integracije pojedinačno upravljanih sredstava rada ili povezivanja više fleksibilnih proizvodnih sistema u računarom integrisane proizvodne sisteme (Computer Integrated Manufacturing-CIM), koje karakteriše: visok stepen iskorišćenja proizvodne opreme, visok kvalitet proizvoda, brza reakcija na zahteve tržišta i visoka ekonomičnost.

Pod pojmom novih proizvodnih tehnologija (mada je ovaj prostor veoma širok) najčešće se podrazumeva primena CNC - alatnih mašina i obradnih

svetskom tržištu i saradnju sa njima.

Na osnovu dosadašnjih iskustava u primeni fleksibilnih proizvodnih sistema može se govoriti o značajnim efektima: povećanju iskorišćena mašina preko 30%, smanjenju delova u skladištima preko 50%, smanjenju troškova radne snage preko 30%, smanjenju radioničkog prostora preko 50%, znatno većim investicionim ulaganjima u odnosu na konvencionalnu tehnologiju - ali uz povećanje profita koje se kreće od 100% do preko 300%.

Relevantni podaci i studije radjene u svetu potvrđuju da će ulaganje svetskog kapitala u ovoj oblasti do 2000 godine biti veoma intenzivno, što će kao rezultat obezbediti visoku efikasnost i kvalitet proizvoda mašinogradnje na svetskom tržištu.

Ova nova tehnologija, koja pomoću računara na bazi razvijenog softvera integriše proizvodni proces u jedinstven sistem, postavlja pored jugoslovenske proizvodjače proizvodnih sistema ozbiljne zahteve u pogledu: organizovanja, podele programa, obezbedjenje kompatibilnosti modula (modularno projektovanje) i koordinacije razvoja uz maksimalno angažovanje svih jugoslovenskih naučnih, stručnih, projektantskih i proizvodnih kapaciteta. Realizacijom ovog programa na jugoslovenskom nivou, naša industrija mašina alatki koja danas zauzima deseto mesto u svetu po obimu proizvodnje, imaće jedinstvenu priliku da poveća (ili bar zadrži) obim proizvodnje i plasmana na svetskom tržištu.

Uspešna saradnja na jugoslovenskom prostoru je jedan od bitnih uslova i za međunarodnu naučno-tehničku saradnju, koja će u narednom periodu biti osnova ekonomske saradnje i učešća svake privrede u međunarodnoj ekonomskoj podeli rada. Industrija IVO LOLA RIBAR je u ovoj oblasti, takodje, koordinator naučno-tehničke saradnje Jugoslavije sa zemljama i zapada i istoka. Naša koncepcija [5] je pomogla da se dodje do koncepcije "Automatizovanih fabrika" zemalja SEV-a, a time obezbedi odgovarajuće mesto u izgradnji Fabrika budućnosti na ovom velikom i za nas značajnom tržištu.

### 3. SADRŽAJ I ORGANIZACIJA PROJEKTA

Predmet istraživanja je oblast automatizovanih proizvodnih i pomoćnih mašinskih sistema upravljanih računarom, uz korišćenje software-a sa primenom ekspertnih sistema i elemenata veštačke inteligencije.

Planirano je da se ovaj veliki i izrazito složen projekat realizuje kroz dve osnovne grupe aktivnosti ili dve grupe potprojekata.

Prva grupa obuhvata istraživačko-razvojne potprojekte u okviru kojih se razvijaju op-

šta znanja, metode i inženjerski alati (računarski programi) za različite inženjerske aktivnosti: projektovanje proizvoda, projektovanje tehnologije, metode proračuna i ispitivanja, upravljanje kvalitetom, upravljanje proizvodnjom, metode zaštite radne i životne sredine, metode simulacije i optimizacije procesa.

Druga grupa potprojekata obuhvata razvojne, projektantske i proizvodne zadatke, sa jasno definisanim izlaznim rezultatima - "materijalnim i intelektualnim dobrima". To su: razvijen software i prototipovi različitih obradnih centara, komponente FPS ili pilot postrojenja fleksibilnih proizvodnih sistema.

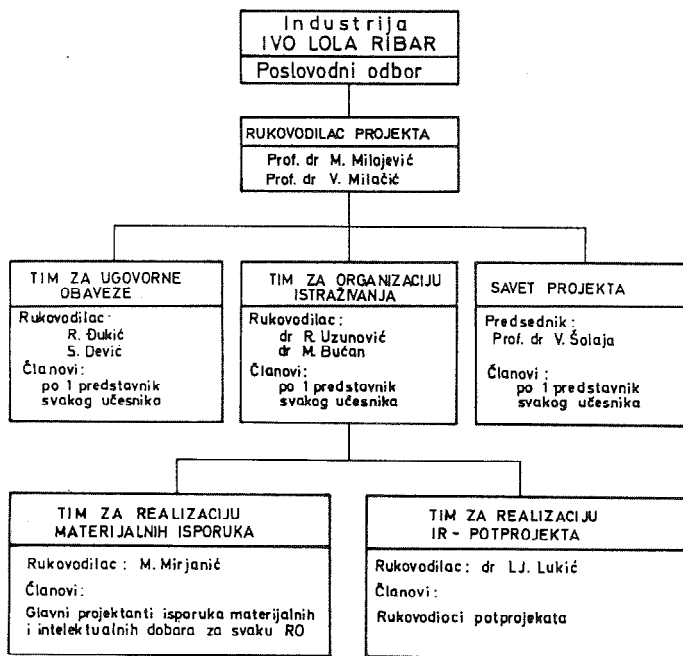
Između ove dve osnovne (istraživačko - razvojne i razvojno - projektantske) grupe postoji neprekidna komunikacija u toku trajanja projekta. Osnovni cilj je da se svi vredniji istraživačko-razvojni rezultati, do kojih se dodje, primene u razvoju i projektovanju komponentata i modula FPS ili u projektovanju tehnologija i razvoju aplikativnog software-a.

Imajući u vidu najveću stručnu i materijalnu odgovornost koordinatora projekta, LOLA RIBAR je preduzeo mere za odgovarajuću organizaciju sopstvenog sistema prilagođenu projektu i zakonskim obavezama [7], a takodje je definisana ukupna organizacija koordinacije i praćenja celokupnog projekta svih učesnika - slika 2.

Najodgovorniji zadatak, pored rukovodilaca projekta, ima Tim za organizaciju istraživanja koji, pored praćenja realizacije planiranih programa vrši povezivanje i uskladjivanje istraživačko-razvojnih zadataka sa konkretnim materijalnim isporukama.

Tim za realizaciju istraživačko-razvojnih potprojekata koordinira i prati sledećih 16 predviđenih potprojekata:

1. Istraživanje i razvoj tipskih rešenja FPS za obradu različitih delova - različitih tehnoloških karakteristika.
2. Obradni centri nove generacije za tehnologije obrade rezanjem
3. Obradni centri nove generacije za tehnologije obrade deformacijom
4. Razvoj metoda simulacije u projektovanju FPS
5. CAD/CAM za računarski integrisanu tehnologiju
6. Fleksibilni sistemi za montažu
7. Automatizovani sistemi za manipulaciju, transport i skladištenje
8. Strukturalna analiza i ispitivanje mašinskih sistema
9. Proizvodna metrologija, kvalitet i pouzdanost za FPS
10. Istraživanje i razvoj upravljačkih sistema za FPS



Sl. 2. Šema koordinacije i praćenja Saveznog projekta PR.151 - fleksibilne proizvodne tehnologije i fleksibilne automatizovane fabrike

11. Informacioni sistem i software za upravljanje proizvodnjom
12. Istraživanje i razvoj tehnika zaštite radne i životne sredine u razvoju opreme i projektovanju novih tehnoloških procesa
13. Medjunarodni centar za nove tehnologije u proizvodnom mašinstvu i industrijski centri
14. Inteligentni tehnološki sistemi kao podrška razvoju FPS
15. Istraživanje i razvoj sistema alata i tehnologije obrade novih materijala
16. Kompjuterski integrisani tehnološki sistemi /CIM/

Tim za realizaciju materijalnih isporuka ima složen zadatak, da na osnovu planiranog programa razvojno-eksperimentalnih istraživanja, dovede do prototipskih modela veliki broj novih proizvoda za koje su zainteresovani učesnici projekta. Ove izlaze u obliku materijalnih i intelektualnih dobara moguće je podeliti u devet osnovnih grupa:

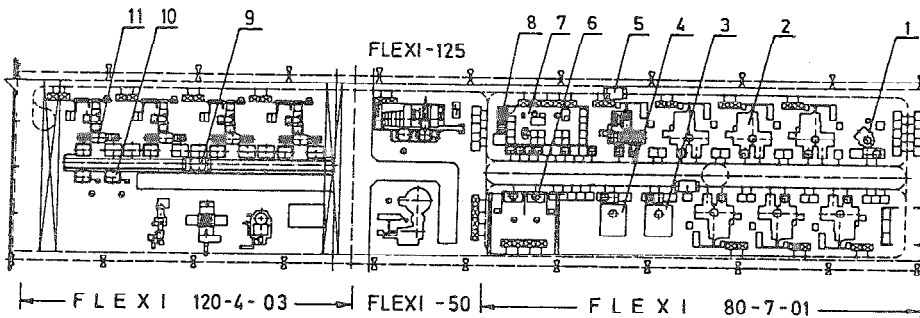
1. Prototipovi obradnih centara nove generacije za tehnologije obrade rezanjem, viso-

kog tehnološkog nivoa, kompatibilni za FPS

2. Prototipovi obradnih centara nove generacije za tehnologije obrade deformacijom (obrada lima, presovanje i kovanje)
3. Sistemi alata i pomoćnih pribora za FPS i prototipovi konceptijski novih elemenata
4. Sistemi za upravljanje FPS na prvom i drugom nivou (hardware i software), primenjeni u pilot postrojenjima
5. Automatizovani sistemi manipulacije, transporta i skladištenja alata i obradaka (paleta), za pilot postrojenja
6. Komponente automatizovanih montažnih sistema - prototipovi
7. Programski paketi različite namene - software proizvodi
8. Pilot postrojenja FPS na osnovu razvijenog koncepta YU-FPS
9. Nova znanja, metode proračuna, ispitivanja i zaštite radne i životne sredine, primenjena u razvoju i obrazovanju planiranih 1.000 novih istraživača i stručnjaka za razvoj i korišćenje fleksibilnih tehnologija.

Novi koncept fleksibilne automatizovane proizvodnje zahteva promene u postojećim obrazovnim programima, počevši od klasičnih radničkih zanimanja do najviših naučno-istraživačkih zvanja. Koncipiranje i uskladjivanje obrazovnih programa, kao i izvodjenje pripreme i školovanja potrebnih kadrova (u istraživanju, projektovanju i proizvodnim tehnologijama) biće osnovni zadatak koji se rešava na potprojektu "Medjunarodni centar za nove tehnologije u proizvodnom mašinstvu i industrijski centri za obuku kadrova". Osnovu obrazovnih programa činiće oblasti: tehnologije obrade i alati, mašine alatke nove generacije, roboti i automatizovani transportni sistemi, sistemi upravljanja, zaštita radne i životne sredine, kvalitet i pouzdanost sistema, projektovanje fleksibilnih automatizovanih fabrika, upravljanje proizvodnjom. Kao rezultat zajedničkog učešća više fakulteta na ovom projektu očekuje se uskladjivanje obrazovnih programa u republikama i pokrajinama u oblasti proizvodnog mašinstva i direktno korišćenje rezultata primenjenih istraživanja i razvojno-eksperimentalnog rada u nastavi i obrazovanju.

Na sl. 3. pokazan je projekat Centra za obuku kadrova i istraživanja u oblasti fleksibilnih proizvodnih sistema i automatizovane proizvodnje, koji se gradi u Industriji IVO LOĀA RIBAR. Centar se sastoji iz dva fleksibilna sistema (FLEXI 80-7-01 i FLEXI 120-4-03), sa dve posebne fleksibilne jedinice (FLEXI-50 i FLEXI-125), a služiće istovremeno i za eksperimentalne i za proizvodne zadatke.



Sl. 3. Centar za obuku kadrova i istraživanje FPS u Industriji IVO LOLA RIBAR (varijanta projekta u izgradnji):

1 - obradni centar za vertikalno struganje JVS 12 OC, 2 - obradni centar HBG-80 OC, 3 - mašina za pranje obradaka, 4 - merni centar MC 80 OC, 5 - induktivno robotizovano vozilo, 6 - stanica za pripremu paleta, 7 - priprema alata 8 - računarski upravljački sistem, 9 - šinsko robotizovano vozilo, 10 - stanica za pripremu paleta, 11 - obradni centar IR/6.

Sistem FLEXI 80-7-01 pokazan je sa varijantom transporta obradaka pomoću robotizovanog induktivnog vozila, pri čemu se može izvesti i sa šinskim kolicima LOLA ROBO-2500. Kompletna oprema u ovom Centru od obradnih centara, do transporta, sistema skladišta i upravljanja je rezultat razvoja i proizvodnje u Industriji IVO LOLA RIBAR.

Centar za istraživanje FPS u Industriji IVO LOLA RIBAR komplementaran je sa Međunarodnim centrom za nove proizvodne tehnologije koji se gradi na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

#### 4. ZAKLJUČAK

Osnovni ciljevi kojima se teži pri realizaciji ovog složenog projekta, svrstani su u četiri grupe.

1. Na osnovu postojećeg nivoa osvojenih tehnologija i proizvoda jugoslovenske industrije alatnih mašina i elektronskih upravljačkih sistema, koristeći postojeća i novostvorena primenjena i razvojna istraživanja u privredi i naučnoistraživačkim organizacijama, oslanjajući se na razvijenu međunarodnu saradnju, istražiti i razviti koncepcije kompatibilnih fleksibilnih proizvodnih sistema (FPS) različite namene i osvojiti proizvodnju komponenata, modula i automatizovanih fabrika visokog kvaliteta i pouzdanosti sa razvijenim software-om za veštačku inteligenciju na bazi sopstvenih inženjerskih znanja.
2. Postići visok nivo konkurentnosti na svetskom tržištu automatizovanih fleksibilnih

fabrika, uz istovremeno stvaranje uslova za široko korišćenje ove tehnologije u jugoslovenskoj mašogradnji - čime će se podići ukupan kvalitet proizvodnje i konkurentnost čitave ove grane naše privrede.

3. Razviti opšte i posebne teorije projektovanja u inženjerstvu, metodologije, modele i tipske konfiguracije FPS.
4. Realizovati sistem paralelnog školovanja i obuke kadrova u istraživanju, razvoju i korišćenju novih tehnologija.

Doprinos realizaciji (makar i delimičan) ovih ciljeva, biće dragocen za ukupan naučni i tehnološki razvoj privrede.

#### Reference

- /1/ Strategija tehnološkog razvoja Socijalističke federativne republike Jugoslavije, Službeni list SFRJ, br. 32 (1987), str. 810-824.
- /2/ Uzunović, R., Milojević, M., Milačić, V., Gligorijević, Z.: Fleksibilne proizvodne tehnologije i fleksibilne automatizovane fabrike, Program razvojno-eksperimentalnih istraživanja (podržan od Saveznog komiteta za nauku, tehnologiju i informatiku - PR. 151), LOLA Institut, Beograd (1988)
- /3/ Milojević, M., Uzunović, R., Bučan, M., Lukić, Lj., Pantelić, P.: LOLA-Fleksibilne proizvodne tehnologije, XV-JUPITER konferencija, Zbornik radova, Cavtat, februara (1989), str. 57-66.
- /4/ Milačić, V.: Nove nauke i nove tehnologije za fabrike budućnosti, XV JUPITER konferencija, Zbornik radova, Cavtat, februara (1989), str. 9-29.
- /5/ Uzunović, R., Milojević, M.: Programma razrobotki gibkih proizvodstvenykh tehnologii i avtomatizirovannykh zavodov v SFRIU (Konceptiia), LOLA Institut, Beograd (1988).
- /6/ Milačić, V.: Centri za nove tehnologije - Osnovi projektovanja, Savez inženjera i tehničara Jugoslavije, Beograd (1989).
- /7/ Zakon o obezbeđivanju i korišćenju sredstava za podsticanje tehnološkog razvoja Jugoslavije, Službeni list SFRJ, br. 84 (1987), str. 2275-2283.

M. Milojević, V. Milačić, R. Uzunović

YUGOSLAV CONCEPT ON THE DEVELOPMENT OF FLEXIBLE MANUFACTURING TECHNOLOGIES AND AUTOMATED FACTORIES

#### Summary

The authors give basic information on research programme concerning Yugoslav development project, backed since 1988 by the Federal Committee on Science, Technology and Informatics. The project and the programme "Flexible Manufacturing Technologies and Flexible Automated Factories" will be carried out in the next five years by 20 leading Yugoslav factories, eight research institutions and eight faculties, all over Yugoslavia. The project is coordinated by Industry IVO LOLA RIBAR in Beograd.

It is anticipated that cooperative work comprises all research and development tasks in the development of ideas, compatible components, modules and systems, leading thus to an optimum division of manufacturing programmes for automated factories of the future. In addition to others, one of the goals is the coordination of Yugoslav participation in similar programmes of international scientific and technical cooperation.

M. Pilipović\*

PRIMENA, PROJEKTOVANJE I RAZVOJ POST-PROCESORA I  
POST-PROCESSOR GENERATORA

1. UVOD

Tehnologija numeričkog upravljanja (NU) kao jedna od ključnih tehnologija savremene proizvodnje (fleksibilni tehnološki sistemi i kompjuterski integrisani proizvodni sistemi) zahteva odgovarajuću podršku hardware-a i software-a za realizaciju tehnološke pripreme. Od ručnog programiranja, prvog i osnovnog načina tehnološke pripreme za NUMA, preko automatskog programiranja, nagli razvoj kompjuterske tehnologije i sistema za projektovanje pomoću računara (CAD/CAM) sa jedne strane i upravljačkih jedinica (UJ) numerički upravljanih mašina alatki (NUMA) sa druge strane doveo je do širokog izbora različitih varijanti realizacije tehnološke pripreme za NUMA i njenog povezivanja sa ostalim podsistemima u konceptima integrisanih sistema. Post-procesorska obrada, kao završna faza tehnološke pripreme za NUMA uz pomoć računara ostaje neophodna i u novim konceptima uz zahteve za prilagođavanje i povezivanje sa novim podsistemima.

U radu se daje mesto i uloga post-procesorske obrade u novim sistemima i rezultati istraživanja na Mašinskom fakultetu u Beogradu u projektovanju post-procesora i razvoju post-procesora uz pomoć post-procesor generatora.

1

2. RAZVOJ NUMA SISTEMA, SISTEMA PROJEKTOVANJA POMOCU  
RACUNARA I POST-PROCESSORSKA OBRADA

Nagli razvoj CAD sistema i proizvodnje pomoću računara sa

1

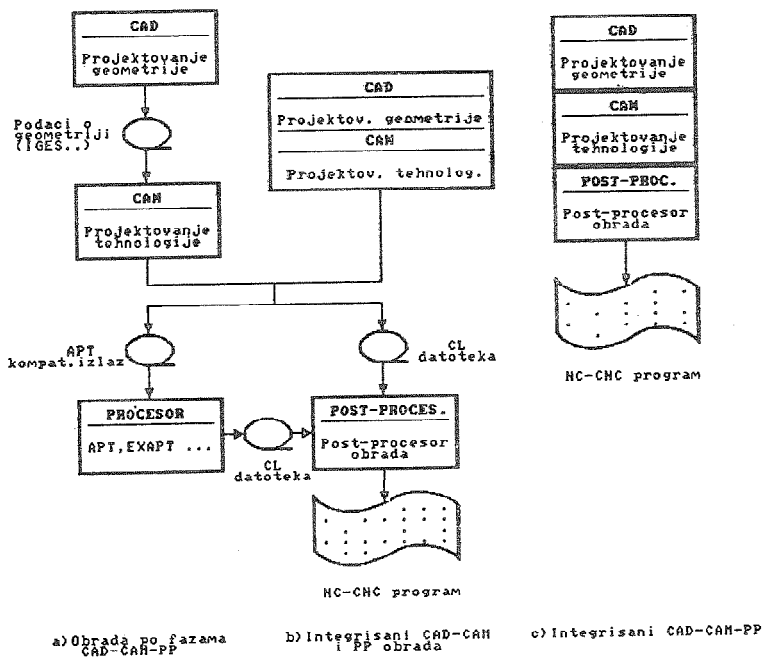
\*/ Dr Miroslav Pilipović, docent Mašinskog fakulteta u  
u Beogradu ul. 27 marta 80



jedne strane, i postojeći podsistemi za automatsko programiranje NUMA, postojeće konstrukcije i već uvedene NUMA sa druge strane, doveo je do potrebe ukupnog povezivanja svih komponenti sistema. Izdvajaju se tri faze procesa projektovanja pomoću računara:

- projektovanje proizvoda (CAD),
- projektovanje tehnologije (CAM), i
- izrada programa za NUMA - post-procesorska obrada (PP).

Mogući načini realizacije i povezivanja dati su na slici 1.



S1. 1. Moguće veze CAD-CAM-Automatsko programiranje-PP

Izdvajaju se tri osnovne varijante:

- obrada po fazama CAD-CAM-PP,
- integrisani CAD/CAM sistem i odvojena PP obrada, i
- potpuno integrisani sistem CAD/CAM/PP.

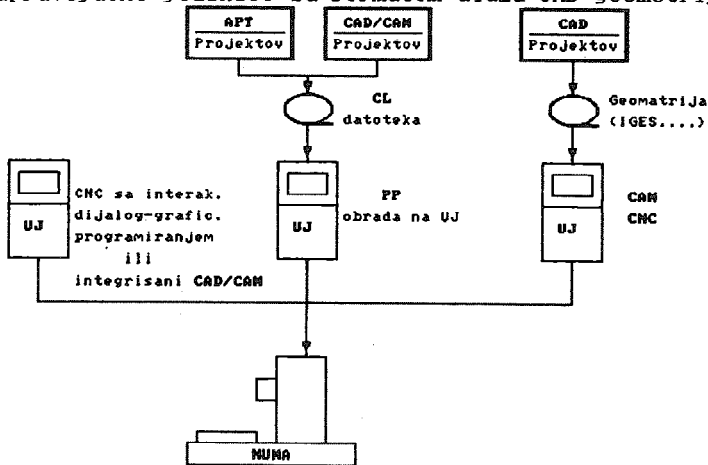
Prve dve varijante omogućuju povezivanje novih CAD/CAM sistema sa postojećim sistemima automatskog programiranja kroz:

- APT kompatibilan izlaz koji omogućava korišćenje uhodane procesorske i postprocesorske obrade, ili
- CL datoteku za uključivanje post-procesorske obrade za instalisane post-procesore i postojeće mašine.

Svaka varijanta ima svoje prednosti i nedostatke i optimalan izbor zavisiće od konkretne situacije (postojećih NUMA, sistema za automatsko programiranje i tehničkih performansi CAD/CAM sistema [1]), ali u svakom slučaju ostaje neophodnost PP obrade.

Drugi aspekt i uticaj na tehnološku pripremu i post-procesorsku obradu nameće razvoj upravljačkih jedinica NUMA [2]. Ističu se tri mogućnosti (slika 2.):

- programiranje u pogonu,
- CNC upravljačke jedinice sa formatom ulaza CL datoteke, i
- CNC upravljačke jedinice sa formatom ulaza CAD geometrije.



a) Programiranje u pogonu      b) CNC sa CL formatom ulaza      c) CNC sa ulazom CAD geometrije  
S1. 2. Razvoj UJ i tehnološka priprema NUMA

Prva varijanta bazira na mogućnostima novih CNC UJ sa interaktivnim dijalog programiranjem (Konverzaciono programiranje) na UJ, ili čak i potpuno integrisanim eksterno razvijanim CAD/CAM sistemima. U ovom slučaju PP obrada u modifikovanom i uprošćenom obliku je sastavni deo funkcija UJ.

Druga varijanta koristi dopunsku mogućnost UJ - ulaz programa u formatu CL datoteke sa integrisanom PP obradom. Uvedena je početkom 80-tih godina formalno nije podržana od većeg broja proizvođača UJ.

Treća varijanta - UJ sa mogućnošću ulaza programa u formatu CAD geometrije (IGES ...), je novi koncept koji podrazumeva projektovanje tehnologije na UJ sa optimizacijom

prema mogućnostima mašine i karakteristikama geometrije priprema i obradka (parametri režima obrade, redosled prolaza itd.) i pre svega je namenjena obradi složenih skulpturnih površina sa velikom količinom materijala za obradu [3].

Mogućnost povezivanja CAD/CAM sistema, klasičnih sistema automatskog programiranja i novih CNC UJ zavisi od uspešnosti standardizacije na nivou software-a (CL-datoteka i grafički CAD izlaz) i na nivou UJ (format i struktura NC programa). Uvidjajući nedostatke starih standarda ISO organizacija je preuzela mere za rekonstrukciju standarda za NUMA. Otvoren je novi tehnički komitet TC 184 i između ostalog čine se napori za njihovo objedinjavanje i obuhvatanje dosad izostavljenih metoda obrade i NUMA (merne CNC mašine, CNC obrada deformacijom, plazma i lasersko rezanje, itd.), kao i robota sa mogućnošću eksternog programiranja [2].

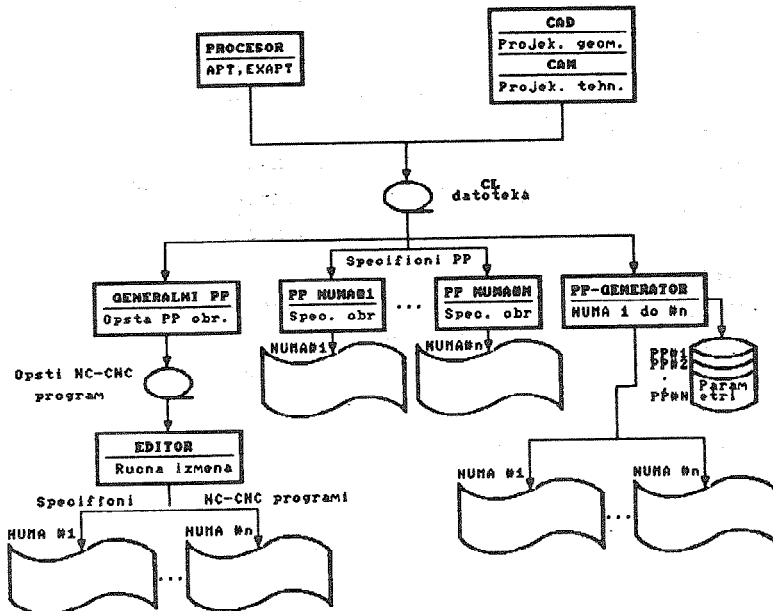
### 3. POST-PROCESSORSKA OBRADA U SISTEMIMA PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE ZA NUMA POMOCU RACUNARA

Osnovni zadatak post-processora je obrada opšteg izlaza iz sistema automatskog programiranja ili CAD/CAM sistema i izrada NC programa za kombinaciju UJ - NUMA, tj. prilagodjavanje opšteg izlaza mašini. Teoretski posmatrano moguće je da je za svaku kombinaciju UJ - NUMA i eventualno za svaki novi software sistem (APT, EXAPT, CAD/CAM, itd.) potreban različit post-processor. Ovo ukazuje na potreban napor u razvoju PP software podrške. Javlja se tri varijante izrade NC programa - post-processora:

- pojedinačno razvijan PP za svaku kombinaciju UJ - NUMA,
- izrada NC programa generalnim PP, i
- izrada NC programa PP generatorom (slika 3.).

Prva varijanta (klasična) zahteva poseban razvoj PP pri čemu se koristi sistem modularnog programiranja.

Izrada programa generalnim post-processorom omogućava zajednički pristup izradi NC programa na bazi standardnih funkcija za najveći broj kombinacija NUMA - UJ, pri čemu izlaz pokriva oko 80% potrebnih kodova. Specifične karakteristike - kodovi pojedinih NUMA unose se editorom - ručno pre distribucije programa. Ovaj model ima nedostatke koji su karakteristika ručnog programiranja i formalno je nepogodan za kompjuterski integrisane sisteme.



Sl. 3. Varijante izrade NC programa - post-procesora

Primena post-procesor generatora je savremeni koncept koji na bazi minimalnog software-a pokriva veliki broj NUMA dok se razlike izmedju pojedinih sistema definišu parametarski. Pokrivaju se sve karakteristike mašine - izlaz 100% kodova.

#### 4. PROJEKTOVANJE I RAZVOJ POST-PROCESORA NA MODULARNOM PRINCIPU

Modularan koncept razvoja post-procesora podrazumeva izdvajanje funkcija zajedničkih većini post-procesora i njihovo realizovanje standardnim podprogramima - modulima. Specifični zahtevi i funkcije uvode se kroz dopunske module za konkretnu NUMA. Navedeni pristup omogućava brži razvoj novih PP na bazi standardnih modula čiji se skup postepeno proširuje. Osnovni pristup i detalji strukture PP na modularnom principu razvijanih na Mašinskom fakultetu u Beogradu dat je u [4] i [5]. Daje se primer ravijenog PP za kombinaciju [6]:

- upravljačka jedinica Haidenhain TNC 150,
- NC glodalica-bušilica Mikron UF-50NC,
- procesor EXAPT-BASIC - EXAPT 1.1.

Navode se osnovne karakteristike NUMA i UJ.

- 3 linearna pomoćna kretanja i 1 obrtno pomoćno kretanje,
- promena položaja ose vreteništa (vertikalno i horizontalno),
- linearna interpolacija u prostoru,
- kružna interpolacija u 3 osnovne ravni,
- sinhronizovano obrtno kretanje sa jednim od 3 linearna,
- programiranje u polarnom koordinatnom sistemu.
- nestandardan format programa - dijalog jezik (bez G funkc.)
- specifična sintaksa i nestandardni ciklusi glodanja,
- ulaz/izlaz iz konture sa radijusom.

Primer izvornog EXAPT-BASIC programa i post-procesorskog izlaza dat je na slici 4.

14	SAFPOS/300,300,300				
15	NEWTL/111999,1,40				
16	NEWTL/107888,5,5				
17	NEWTL/544555,5,145				
18	TN/107888				
19	SPINDL/95,CLW				
20	COOLNT/ON				
21	COOLNT/1.ON				
22	RAPID				
23	GOTO/-85,370,0.5				
24	NULLP/0.XADR,20.YADR,30.ZADR,40				
25	NULLP/1.XADR,40.YADR,50.ZADR,60				
26	FEDRAT/100,PERMIN				
27	GOTO/-85,0,0.5				
28	PPRINT/WZBL PRVI TEST TEXT				
28	PPFUN/UPDEF,9				
29	ROTABL/180				
30	GOTO/-85,370,0.5				
31	RAPID				
32	AAAA=123.50				
33	PPFUN/WERIPR,AAAA				
34	PPRINT/WZBL DRUGI TEKST SA PROMENLJIV				
35	ROTABL/20,NOUT				
36	GODLTA/10				
37	PPFUN/UPOFF				
38	FEDRAT/0,9				
39	ROTABL/-10,NOUT				
40	GODLTA/-10				
41	PPFUN/UP,9				
42	PPFUN/UP,9,REP,5				
43	CUTCOM/LEFT				
44	CUTCOM/ROUND,40				
45	GOTO/-85,0,0.5				
46	SPINDL/OFF				
47	GOTO/-85,370,0.5				
48	COOLNT/OFF				
49	TN/111999				
50	SPINDL/250,CCLW				
		\$ TEST 1 MIKRON UF50			09/C
		5 T O O L D E F 1 L+0,000 R+2,500			
		10 T O O L D E F 2 L+0,000 R+20,000			
		15 T O O L D E F 3 L+0,000 R+72,500			
		20 L X+300,000 Z+300,000 RO F9999 M			
		25 T O O L C A L L 1 Y S100,000			
		30 L Y+300,000 RO F9999 M13			
		35 L X-85,000 Z+370,000 RO F9999 M			
		40 L Y+0,500 RO F9999 M			
		45 L X+50,000 Y+60,000 Z+70,000 RO F9999 M92			
		50 C Y C L E D E F 7.0 N U L L P U N K T			
		55 C Y C L E D E F 7.1 X+20,000			
		60 C Y C L E D E F 7.2 Y+30,000			
		65 C Y C L E D E F 7.3 Z+40,000			
		70 L X+40,000 Y+50,000 Z+60,000 RO F9999 M91			
		75 L Z+0,000 RO F100 M			
		80 L B L 9			
		85 L Z+370,000 I C+180,000 RO F100 M			
		90 L I C+20,000 RO F9999 M			
		95 L Y+10,500 RO F9999 M			
		100 L B L 0			
		105 L I C-10,000 RO F90 M			
		110 L Y+0,500 RO F90 M			
		115 C A L L L B L 9 R E P			
		120 C A L L L B L 9 R E P 5			
		125 R N D R40,000			
		130 L Z+0,000 R L F90 M			
		135 L Z+370,000 R L F90 M05			
		140 L Y+300,000 RO F9999 M09			
		145 L X+300,000 Z+300,000 RO F9999 M06			
		150 T O O L C A L L 2 Y S250,000			
		155 L Y+300,000 RO F9999 M14			

S1 4. Primer EXAPT-BASIC - PP Mikron UF50/TNC150

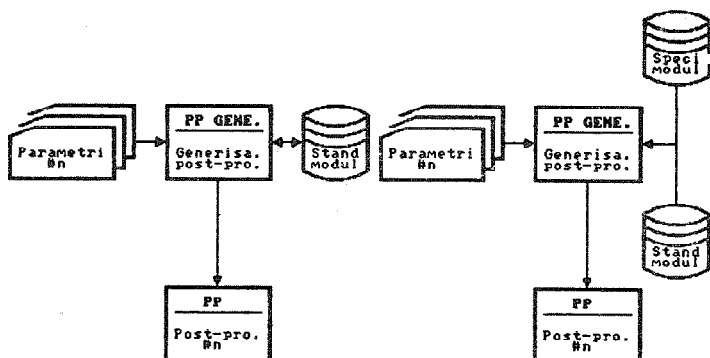
#### 5. PROJEKTOVANJE I RAZVOJ POST-PROCESORA POMOCU POST-PROCESOR GENERATORA

Razvoj post-procesora pomoću PP generatora omogućava da se parametrima definišu karakteristike NUMA - UJ i realizuje specifični PP izlaz. Parametri se koriste za definicije:

- formata i strukture izlaznog NC programa i izveštaja,
- tehničkih karakteristika mašine (granice kretanja, režima,...),
- kodova G i M funkcija,
- formata i parametara projektovanih PP instrukcija, itd.

Primenjuju se dva osnovna sistema (slika 5.):

- zatvoreni sistem (u potpunosti parametarski vodjen), i
- otvoreni sistem (korisnik opcionalno razvija nove module).



a) Zatvoren tip PP generatora

b) Otvoren tip PP generatora

Sl. 5. Vrste i princip rada PP generatora

Daje se primer CDMGEN-CDM300 post-processor generatora razvijenog za CDM300 CAD/CAM sistem. Spada u klasu otvorenih PPgeneratora i sadrži: glavni program, standardne podprograme, i podprograme za izmenu - razvoj od strane korisnika (MOVE - za obradu kinematskih i POSCOM za obradu PP instrukcija).

Na bazi navedenog PP generatora razvijen je post-processor za CNC strug Hoesch MFD D2500 i UJ Sinumerik Sprint 8T za obradu izlaza CL datoteke CAD/CAM sistema CDM300 [7]. Primer APT kompatibilnog izlaza iz CDM300 i PP izlaza dat je na slici 6.

1	PARINO/PILKE2	*T#PILKE2 3.32 PM 15 MAY 1987
2	SPINDL/RANGE HIGH	N1 M42
3	SET/SMALL,XCOORD,0.00,ZCOORD,100.00	N5 G25 X0 Z100.
4	SET/LARGE,XCOORD,100.00,ZCOORD,150.00	N10 G26 X100. Z150.
5	SETUP/1.00,XCOORD,200.00,ZCOORD,300.00	N15 G59 N1 X200.
6	SETUP/1.00	N20 G54 S500 M03
7	COOLNT/ON	N25 M61
8	SPINDL/50.00,CLW	N30 (POZICIONIRATI NOSAC AL.
9	TOOLNO/333.00,51.00,OFSETL,1.00	N35 G59XR61ZR41
10	RAPID	N40 (ALAT IDBR= 333 MAG=2
11	SET/INCR,OFF	N45 M05
12	FROM/77.10,0.00,217.82	N50 T3101 M06
13	STOP	N55 G00 X154.21 Z217.82
14	PPRINT/ POZIC. ALAT U START	N60 M00
15	TRANS/XCOORD,217.82,ZCOORD,77.10	N65 ( POZIC. ALAT U START)
16	GOTO/107.30,0.00,203.70	N70 G92 X217. Z77.
17	FEDRAT/0.50,IPR	N75 G00 X214.6 Z203.7
18	GOTO/109.30,0.00,203.70	N80 G51 X218.6 F.5
18	GOTO/109.30,0.00,118.30	N85 Z118.3
19	RAPID	N90 G00 X217.106
20	GOTO/108.59,0.00,119.01	N95 Z203.7
20	GOTO/108.59,0.00,203.70	N100 X220.6
20	GOTO/110.30,0.00,203.70	N105 G01 X224.6
21	FEDRAT/0.50,IPR	N110 Z118.3
22	GOTO/112.30,0.00,203.70	N115 X220.
22	GOTO/112.30,0.00,118.30	N120 G00 X218.586
22	GOTO/110.00,0.00,118.30	N125 Z203.7
23	RAPID	N130 X226.6

Sl. 6. Primer APT kompatibilnog izlaza CDM300 i PP izlaza

## 6. ZAKLJUČNE NAPOMENE

U radu je dat pristup, uloga i moguća organizacija PP obrade u savremenim software i hardware sistemima sa aspekta daljeg razvoja i primene NUMA. Ističe se kontinuitet i iskustvo u istraživanju i razvoju post-procesora na Mašinskom fakultetu u Beogradu sa aspekta stvaranja uslova za dalji nezavistan razvoj domaće industrije u oblasti proizvodnje i uvođenja NUMA.

## 7. REFERENCE

- [1] Computer Assisted Part Programming - its Link to CAD/CAM, The Production Engineer, May (1983).
- [2] Pilipović, M., Razvoj sistema za projektovanje jedinica za numeričko upravljanje kod mašina alatki, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Beograd (1987).
- [3] Yamazaki, K., A Real Time CNC Control for Machining Sculptured Surfaces, 1st Int. Sem. on Intelligent Manufacturing Systems, Dubrovnik (1985).
- [4] Pilipović, M., Urošević, M., Post-procesor za obradni centar, VII Biam konferencija, Zagreb (1984).
- [5] Pilipović, M., Primena EXAPT jezika na malim računarima, X simp. Upr. proizv. u ind. prer. metala, Beograd (1980).
- [6] Milačić, V., Pilipović, M., Proj. i razvoj PP za glodalicu Mikron UF-50NC, Elaborat, Mašinski fakultet, Beograd (1986).
- [7] Milačić, V., Pilipović, M., Mihalić, B., Erdeljac, T., Razvoj PP za CDM300, Elaborat, Mašinski fakultet, Beograd (1986).

*Pilipović, M.*

APPLICATION, DESIGN AND DEVELOPMENT OF POST-PROCESSOR  
AND POST-PROCESSOR GENERATOR

S u m m a r y

*Structure of software applied for automatic design of NC technology is given in this paper. Special attention is paid to the tendencies in development and to the changes caused by new hardware and software, CAD-CAM systems and computer integration systems requirements.*

*The position and the role of the post-processors have been analyzed with some examples of the realized solutions of specific post-processor and some examples of the post-processors generator application for development of post-processor.*

R. Albiјanić \*

## STRUKTURALNA DINAMIKA ALATNIH MAŠINA

### 1. UVOD

Savremeni razvoj alatnih mašina sve više ide u pravcu povećanja njihove produktivnosti, tačnosti i kvaliteta obrađene površine. Usled ograničenja u dinamičkoj stabilnosti često je vrlo teško obezbediti ove zahteve. Svako veliko povećanje brzine rezanja, koraka i dubine rezanja je u najvećem broju slučajeva praćeno pojavom intezivnih vibracija koje direktno ugrožavaju propisanu tačnost i kvalitet obrađene površine. S druge strane, postaju sve naglašeniji zahtevi u pogledu značajnog skraćenja vremena razvoja novih konstrukcija, gde su nakon razvojnog i projektantskog perioda praktično dozvoljene samo minorne modifikacije. Iskustvo i inženjerska intuicija, ma koliko bili veliki postaju nedovoljni. Nameće se potreba za praktičnom primenom savremenih metoda baziranih na korišćenju moćne merno-računarske opreme.

Predikcija dinamičkog ponašanja složenih mašinskih konstrukcija još u fazi njihovog projektovanja, verifikacija dinamičkih parametara na realnim konstrukcijama i njihova modifikacija na nekom višem nivou su praktično jedino moguća istovremenim korišćenjem matematičkih i eksperimentalnih metoda. Prve su obično bazirane na metodu konačnih elemenata /7,8/, a druge na modalnoj analizi /3,4,5,6/. Da bi se došlo do zadovoljavajućih rezultata, može se generalno reći, da matematičke metode zahtevaju dosta iskustva baš po određenom tipu konstrukcija. Drugim rečima, potrebno je dosta inženjerske intuicije. Eksperimentalni pristup daje inzveredne rezultate ukoliko se radi o konstrukcijama sa malim stepenom prigušenja - slučaj alatnih mašina, odnosno prosečne rezultate ukoliko su u pitanju veće vrednosti prigušenja. U svakom slučaju najbolji rezultati se postižu kombinovanim korišćenjem matematičko-eksperimentalnih metoda.

Ovaj rad je rezultat najnovijih istraživanja koja su izvedena u okviru znatno šireg programa čije istraživačke aktivnosti u kontinuitetu traju skoro 25 godina. Na praktičnom primeru obradnog centra i njegovih komponenti, proizvodnje ILR, Železnik, pokazani su osnovni elementi metodološkog koncepta modalne analize. Takođe, prikazani su neki rezultati matematičkog pristupa.

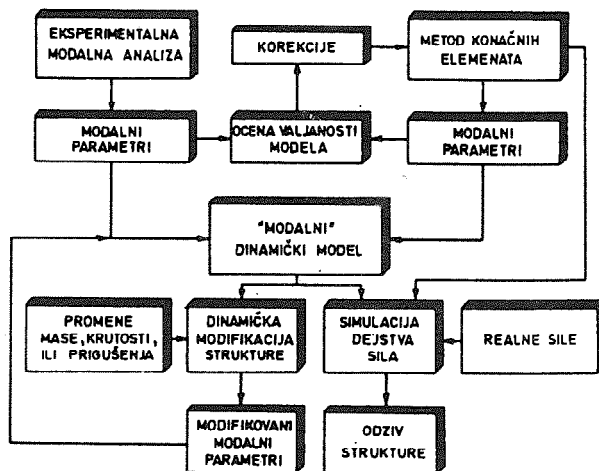
### 2. STRUKTURALNI DINAMIČKI KONCEPT

Na sl.1 je pokazana organizacijska šema strukturalnog dinamičkog koncepta koji funkcionise u Institutu u okviru znatno šireg programa istraživanja dinamičkih fenomena. Definisane modalnih parametara ide paralelnom po eksperimentalnoj i matematičkoj osnovi, tako da se u bloku "ocena valjanosti modela" izvodi njihova komparacija uz postavljanje verodostojnog matematičkog modela, koji daje rezultate modalne analize identične eksperimentalno dobijenim.

\* / Mr. Radomir Albiјanić, dipl. ing., šavetnik LOLA Instituta, Beograd.



Modalni parametri ograničenog broja izraženih oblika oscilovanja, omogućuju formiranje "modalnog" dinamičkog modela, koji u daljoj metodološkoj strategiji ima jedno od ključnih mesta. Na ovaj način je izvedena višestruka redukcija sistema, koja omogućuje efikasno izvođenje modifikacijskog postupka, uz korišćenje računara znatno manjeg memorijskog kapaciteta. Na potpuno analogan način postupkom simulacije dejstva sila dolazi se do definisanja odzivnih karakteristika strukture u vremenskom i frekventnom domenu.



Sl.1 Opšti strukturalni dinamički koncept

Pokazani dinamički koncept omogućava mnogo brži, efikasniji i jeftiniji razvoj novih konstrukcija. Postoje mnoge komparativne prednosti savremenog nad klasičnim konceptijskim pristupom. Klasični pristup je dugotrajan, skup i zametan, pošto obuhvata niz cikličkih promena na realnoj strukturi koje su praćene odgovarajućim eksperimentalnim verifikacijama. Savremeni pristup polazi od strukturalne modifikacije, gde se parametri optimalne konstrukcije dobijaju u okviru jednog kratkotrajnog matematičkog postupka koji sadrži 2 faze. Identifikacija mesta i parametara koji obezbeđuju optimalnu promenu je predmet prve faze. U drugoj fazi se sračunavaju stvarne promene u funkciji parametara odabranih u prvoj fazi. Imajući u vidu da se preko modalnih parametara dolazi do slabih mesta na konstrukciji, i da je na njima postavljen ceo modifikacijski pristup, može se sagledati širi značaj modalne analize.

### 3 EKSPERIMENTALNI PRISTUP-MODALNA ANALIZA

Osnove koncepta modalne analize su bile poznate godinama ranije. Eksperimentalna identifikacija složenih nosećih struktura je godinama bila postavljena na osnovnim postavkama ovog pristupa. Međutim, tek se razvojem digitalne merno-računarske opreme i pratećeg softvera značajno su proširene praktične mogućnosti njegove primene. Višestruko je povećana tačnost i brzina rada. Do detalja su razrađeni metodološki postupci za razdvajanje spregnutih modova čije razlike u sopstvenim vrednostima mogu da iznose jedva neku

desetinku od herca, što je bilo nezamislivo korišćenjem klasičnih postupaka. Takođe, postupak omogućuje dosta tačno razdvajanje bliskih modova spregnutih sa visokim koeficijentima prigušenja.

Teorijske osnove modalne analize šire su date u /4,5/. Ustvari sam metodološki pristup ne predstavlja ništa drugo nego dekompoziciju složenog kretanja koje u matematičkoj formi može biti predstavljeno pomoću ograničenog broja modalnih parametara određenih eksperimentalnim putem. Naravno da se radi samo u onim modovima koji imaju veći praktični značaj. Za par tačaka (i, j) prenosna funkcija u frekventnom i vremenskom domenu može biti data u formi jednog od sledećih alternativnih izraza:

$$H_{ij}(\omega) = \frac{X_i}{F_j} = \sum_{k=1}^n \left[ \frac{\psi_{ik} \psi_{jk}}{a_k(j\omega - \lambda_k)} + \frac{\bar{\psi}_{ik} \bar{\psi}_{jk}}{\bar{a}_k(j\omega - \bar{\lambda}_k)} \right] \quad (1)$$

$$H_{ij}(\omega) = \frac{X_i}{F_j} = \sum_{k=1}^n \left[ \frac{U_{ijk} + jV_{ijk}}{\mu_k + j(\omega - \nu_k)} + \frac{U_{ijk} - jV_{ijk}}{-\mu_k + j(\omega + \nu_k)} \right] \quad (2)$$

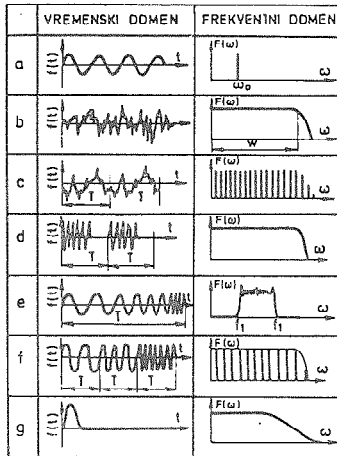
$$h_{ij}(t) = 2 \sum_{k=1}^n \left| R_{ijk} \right| e^{-\mu_k t} \sin(\nu_k t) \quad (3)$$

gde je:  $X_i$  - odziv sistema u tački (i),  
 $F_j$  - pobuda sistema u tački (j),  
 $\psi_{ik}$  - modalno pomeranje tačke (i) u modu (k),  
 $\lambda_k$  - sopstvena vrednost moda (k),  $\lambda_k = \mu_k + j\nu_k$ ,  $\bar{\lambda}_k = \mu_k - j\nu_k$ .

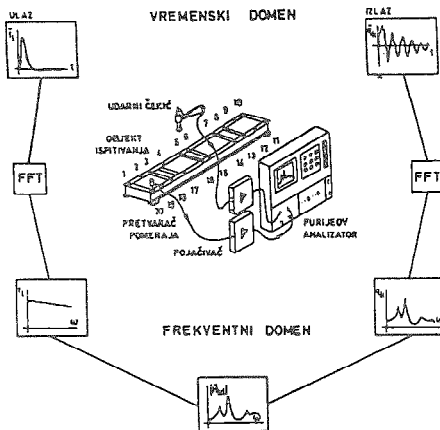
Od značaja je istaknuti da modalni parametri  $\mu(k)$  i  $\nu(k)$  su karakteristike sistema i ne zavise od položaja pretvarača i mesta dejstva pobudne sile. Modalna pomeranja  $U(ijk), V(ijk)$ , odnosno  $\psi(ik), \psi(jk)$  zavise od lokacijskog položaja pretvarača pomeraja i mesta dejstva pobudne sile. Eksperimentalno određene prenosne funkcije predstavljaju osnovu za definisanje modalnih parametara-sopstvene vrednosti, prigušenja i glavni oblici oscilovanja. Prenosne funkcije se danas određuju pomoću višekanalnih digitalnih analizatora, koji koriste sledeću matematičku formu:

$$H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)} = \frac{\bar{F}(\omega)}{\bar{F}(\omega)} = \frac{G_{XF}(\omega)}{G_{FF}(\omega)} \quad (4)$$

Prenosna funkcija je na ovaj način definisana posrednim putem, koristeći funkciju krosspektra i funkciju autospektra ulaznog signala (sile). Polazeći od činjenice da je prenosna funkcija dobijena na bazi Furijeovih transformacija funkcija -izlaz/ulaz, što znači da je na određeni način već normalizovana, proizilazi generalni stav da bilo koja vrsta signala može biti upotrebljena za dinamičko pobuđivanje konstrukcija. Međutim, u realnoj istraživačkoj praksi, u zavisnosti od merne opreme, prisustva eksternog šuma, vrste konstrukcije i vremena raspoloživog za ispitivanje, izvedena je određena kategorizacija signala pobude: periodični (spora sinusna pobuda, brza sinusna pobuda, pseudo-slučajna pobuda), slučajni (čisto-slučajna pobuda, periodično-slučajna pobuda), tranzijetni (impulsna pobuda) i realni /5/. Interpretacija ovih signala u vremenskom i frekventnom domenu je pokazana na sl.2.

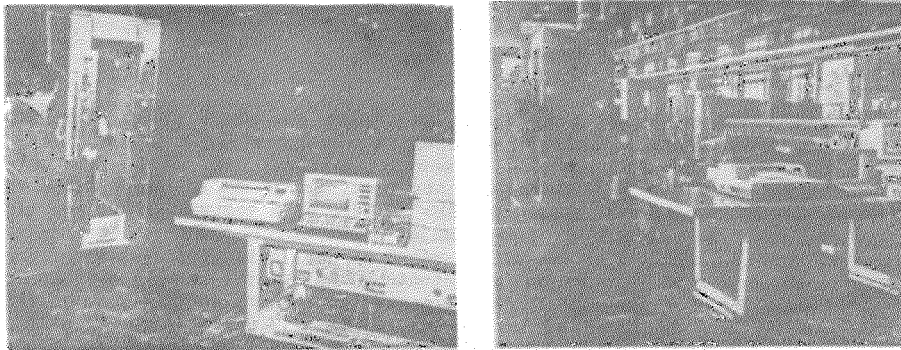


Sl.2 Tipični signali pobude i odziva



Sl.3 Uprošćeni model identifikacije modalnih parametara

Organizacija impulsnog načina pobuđivanja konstrukcija je pokazana na sl.3. Naizmeničnom promenom mesta dejstva impulsne sile, pri nepromenjenom položaju mesta pretvarača pomeraja, dobija se niz prenosnih funkcija koje odgovaraju matricnoj koloni matrice prenosnih funkcija. Snimljene prenosne funkcije dalje predstavljaju osnovu za potpuno definisanje modalnih parametara. U tom cilju je neophodno korišćenje računarske podrške i razvijenih pratećih softverskih programa. Postojeći komercijalni programi omogućuju dosta tačno određivanje modalnih parametara i u uslovima povećanog suma, velikog prigušenja i spregnutih modova. Razvijen je čitav niz različitih algoritama za međusobno razdvajanje pojedinih modova, od kojih najveći značaj ima "global curve fitting" algoritam, po kome su sopstvene vrednosti i prigušenja, a ne samo sopstveni vektori, rezultat analize i osrednjavanja svih snimljenih prenosnih funkcija.

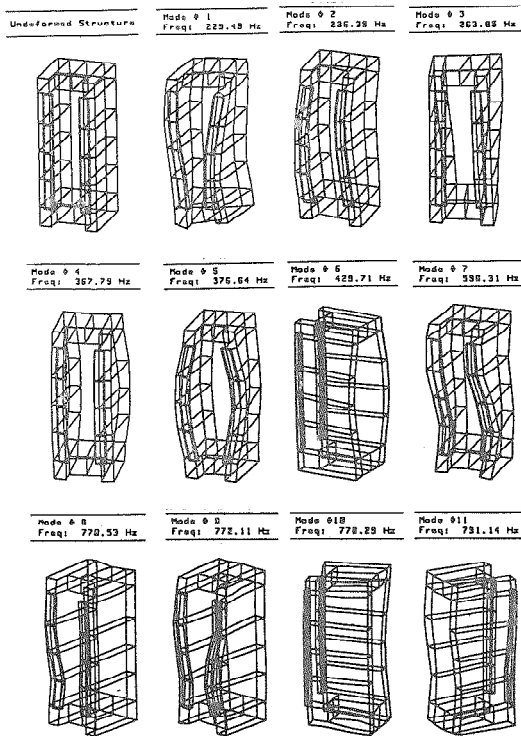


Sl.4 Organizacija dinamičkog ispitivanja vertikalnog stuba i obradnog centra

Vertikalni stub obradnog centra i obradni centar HBG-50 su bili predmet detaljnog ispitivanja, sl.4. Na slici je, takođe, vidljiva korišćena merno-računarska oprema sastavljena od sledećih komponenti:

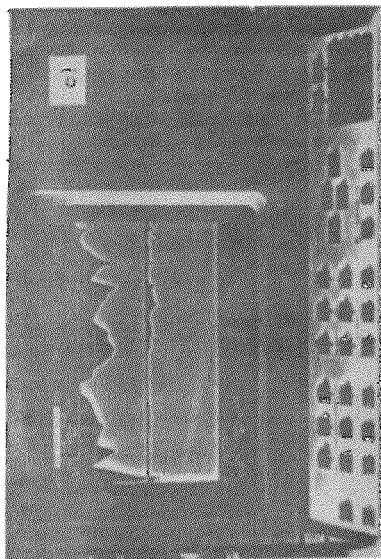
- |                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| 1. Analizator         | B&K, tip 2032   |
| 2. Pretvarač ubrzanja | PCB, tip 308B   |
| 3. Udarni čekić       | PCB, tip 86B20  |
| 4. Računar            | HP9000, tip 217 |
| 5. Ploter             | HP, tip 7090 A  |
| 6. Softverski program | SMS, modal 3.0  |

Iz iskustva je poznato da vertikalni stub predstavlja vitalni deo obradnog centra, i zato je u početnoj fazi izvedeno njegovo ispitivanje u uslovima elastičnog i krutog vešanja.



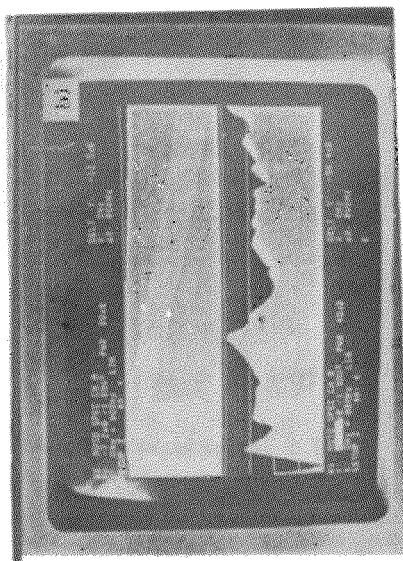
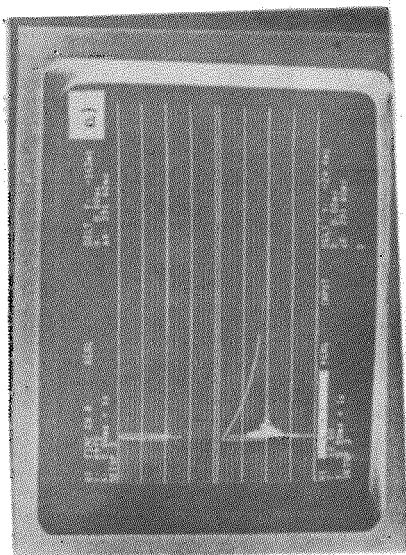
Sl.5 Izgled karakterističnih oblika oscilovanja stuba

Eksperimentalni modalni model stuba čine 196 međusobno povezanih tačaka sa izgledom pokazanim na sl.5 (nedeformisana struktura). Tipični vremenski zapisi pobudne sile i odzivnog ubrzanja su pokazani na slici 6(a). Njihova interpretacija u frekventnom domenu je data na sl.6(b). Na sl.6(c) je pokazana prenosna funkcija i koherentna funkcija. U cilju odstranjenja prisutnog šuma,



Sl. 6 Izgled karakterističnih funkcija  
pri impulsnom načinu pobude

- a) pobuda (gore) i odziv (dole)  
u vremenskom domenu
- b) pobuda (gore) i odziv (dole)  
u frekventnom domenu
- c) prenosna funkcija (gore) i  
koherentna funkcija (dole)



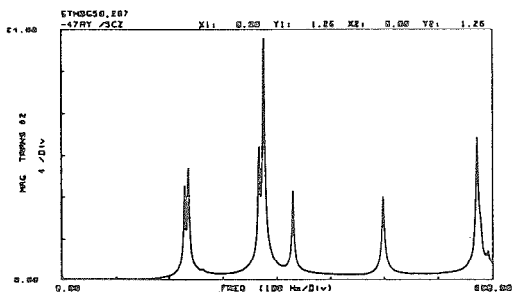
prenosne funkcije prosledene od analizatora prema računaru, po pravilu, su rezultat njihovog višestrukog osrednjavanja. Izgled koherentne funkcije je najbolje merilo kvaliteta snimljenih i osrednjenih prenosnih funkcija. Visoke vrednosti koherentne funkcije-raspon vrednosti se kreće između 0-1, su najbolji indikator da se radi o kvalitetnim prenosnim funkcijama sa minimumom prisutnog šuma i nelinearnosti u snimljenim signalima. Tipičan izgled takve koherentne funkcije je pokazan na sl.6(c)-donja slika. Izvesni padovi u koherentnoj funkciji su prisutni samo u antirezonantnim područjima, gde je signal jako mali, pa u prvi plan izbija prisutni šum.

TABELA 1

FRQUENCY AND DAMPING			
	FREQ (HZ)	DAMP(%)	DAMP(HZ)
1.	229.49	.56	1.29
2.	236.39	.49	1.15
3.	263.85	.52	1.36
4.	367.79	.40	1.46
5.	376.64	.35	1.32
6.	429.71	.34	1.47
7.	598.31	.29	1.74
8.	770.53	.43	3.28
9.	772.11	.26	2.02
10.	778.29	.21	1.63
11.	791.14	.24	1.93

TABELA 2

AUTO M.A.C. MODE NO.											
MODE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.00	0.08	0.06	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00
2		1.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
3			1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
4				1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5					1.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6						1.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
7							1.00	0.15	0.08	0.00	0.04
8								1.00	0.33	0.00	0.07
9									1.00	0.00	0.02
10										1.00	0.01
11											1.00



Sl.7 "Zbirna" prenosna funkcija stuba

Pri ispitivanju stuba ukupno je snimljeno 287 različitih prenosnih funkcija, na bazi kojih su definisani njegovi modalni parametri. U tabl.1 su date brojne vrednosti dobijenih sopstvenih vrednosti (frekvenci) i modalnog prigušenja. U cilju utvrđivanja stvarnog broja modova u posmatranom frekventnom opsegu 0-800 Hz, pre početka obrade snimljenih prenosnih funkcija, korišćen je specijalni matematički algoritam (The Mode Indicator Function) kojim se prisutni strukturalni modovi još više ističu, a intenzivno prigušuje postojeći šum. Na ovaj način se dolazi do tačnije procene prisutnog broja modova što je često jako važno u postupku modalne analize. Izgled ovakve "zbirne" prenosne funkcije stuba je prikazan na sl.7. Skoro vizuelnim putem da je evidentno prisustvo svih 11 registrovanih modova.

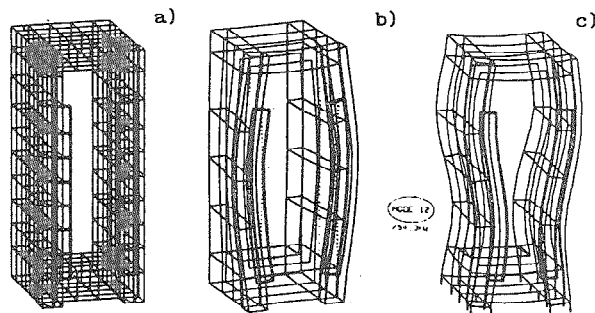
Na sl.5 su pokazani izgledi karakterističnih oblika oscilovanja stuba. Za razliku od drugih formi prezentacije, ovi daju dobru vizuelnu impresiju o njegovom dinamičkom ponašanju. Na bazi dobijenih modalnih parametara provereno je ponašanje stuba, pod dejstvom dinamičkih sila unapred determinisanih po mestu dejstva, veličini i karakteru. Modifikacionim pristupom takođe postavljenim na modalnim parametrima, efikasno su sagledani pravci mogućih intervencija u cilju dobijanja dinamički stabilnijeg stuba.

U tabl.2 dat je pregled dobijenih MAC-vrednosti (Modal Assurance Criterion Values), čije male vrednosti pokazuju da se radi o potpuno razdvojenim oblicima oscilovanja. MAC -vrednosti se, takođe, kreću u dijapazonu 0-1. Ove vrednosti su definisane sledećim matematičkim algoritmom:

$$MAC(p, x) = \frac{\sum_{j=1}^n (\psi_x)_j (\bar{\psi}_p)_j}{\left( \sum_{j=1}^n (\psi_x)_j (\bar{\psi}_x)_j \right) \left( \sum_{j=1}^n (\psi_p)_j (\bar{\psi}_p)_j \right)} \quad (5)$$

gde su  $(\psi_x)_j$  i  $(\psi_p)_j$  modalni vektori, a  $(j)$  redni broj tačke u modalnom vektoru.

Na potpuno analogan način je izvedeno ispitivanje istog stuba postavljenog na uzdužnom postolju. I na kraju, ispitivanjem je obuhvaćen ceo obradni centar čiji se model sastojao od 238 tačaka. Snimljeno je 650 različitih prenosnih funkcija koje su poslužile kao baza za definisanje modalnih parametara. Zbog prostorne ograničenosti ovog rada oni nisu mogli biti predmet ovog razmatranja.

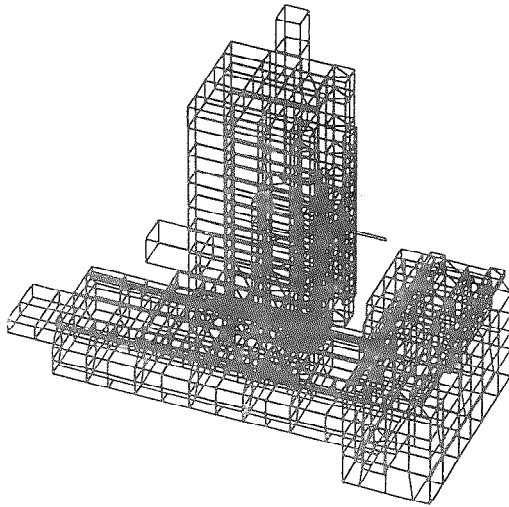


Sl.8 a) Računski model stuba  
b) Statička deformacija stuba  
c) Glavni oblik oscilovanja

#### 4. MATEMATIČKI PRISTUP-METOD KONAČNIH ELEMENATA

Statički i dinamički proračun obradnog centra i njegovih komponenti je izveden na računaru HP 9000, Model 320, uz korišćenje u izvesnoj meri modifikovanog programa HP-FE.

Potpun teoriski prikaz primenjenog matematičkog algoritma je detaljno dat u /7/. On ima iteracijski karakter. Na prvom koraku je izvedena faktorizacija simetrične i pojasne matrice krutosti koristeći postupak Cholesky. Sopstvene vrednosti i sopstveni vektori su u iteracijskom postupku dobijeni na bazi poznate "subspace iteration technique", u kojoj veličina polaznog iteracijskog vektora zavisi od potrebnog broja najnižih sopstvenih vrednosti. Na taj način je postignuta višestruka redukcija dinamičkog sistema. U svim iteracijskim ciklusima za dobijanje dijagonalnih matricnih formi je korišćena Jacobi-jeva metoda. Primenjeni matematički algoritam omogućava dinamički proračun vrlo složenih struktura sa velikim brojem stepeni slobode.

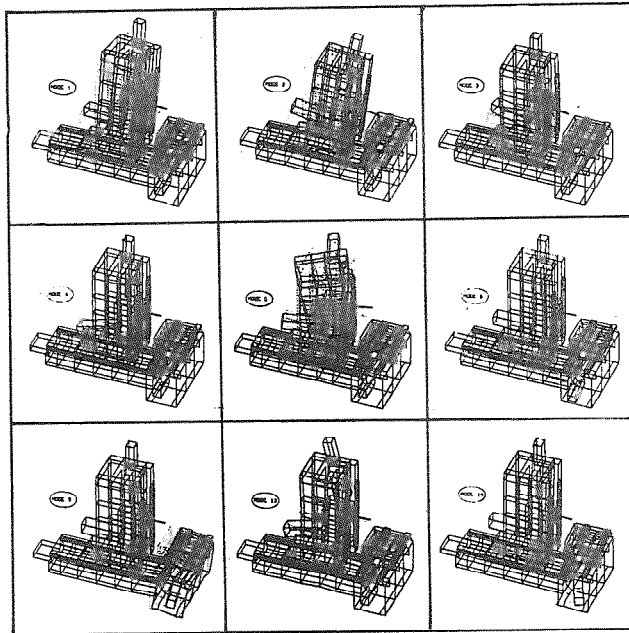


Sl.9 Računski model obradnog centra

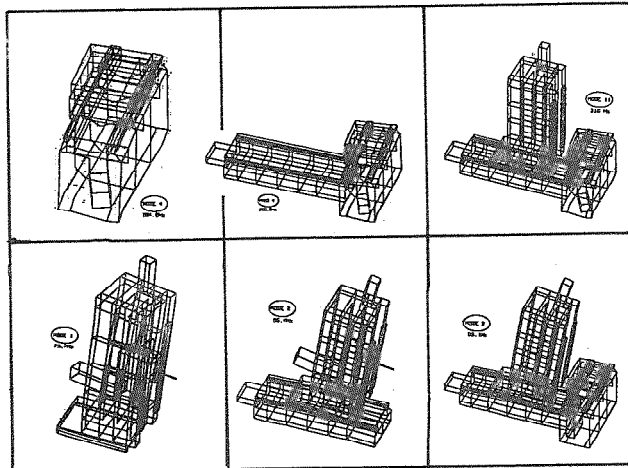
Računski model stuba sa 526 tačaka je pokazan na sl.8(a). Diskretizacija stuba je izvedena sa mrežom od 568 konačnih elemenata oblika ploča, greda i štapova. Na sl.8(b) je data statička deformacija stuba pod dejstvom bočnih sila kojima je simulirano prednaprezanje između stuba i vreteništa. Samo primera radi, na sl.8(c) je pokazan izgled jednog od glavnih oblika oscilovanja stuba, dobijen u okviru izvedenog dinamičkog proračuna. Poklapanje računskih dinamičkih parametara sa eksperimentalno određenim je u sasvim zadovoljavajućim granicama.

Na sl.9 je prikazan računski model obradnog centra HBC-50 sa 1348 tačaka. Diskretizacija strukture obradnog centra je izvedena sa ukupno 1257 konačnih elemenata (4-ugaoni elementi oblika ploče-848; 3-ugaoni elementi oblika ploče-95; elementi oblika grede-48; 8-prizmatični elementi-212; 6-prizmatični elementi-54). Karakteristični oblici oscilovanja obradnog centra, dobijeni kao rezultat dinamičkog proračuna su prikazani na sl.10.





Sl.10 Karakteristični oblici oscilovanja obradnog centra



Sl.11 Oblici oscilovanja za različite kombinacije podstruktura.

Dalji deo istraživanja je bio usmeren prema identifikaciji onih modova koji imaju najveći uticaj na ukupno dinamičko ponašanje mašine. Takođe, istraživanja su izvedena u pravcu identifikacije delova mašine sa dominantnim dinamičkim uticajem, /6/. U tom cilju je razvijen poseban postupak baziran na podstrukturama, koji upravo poseban značaj ima u dinamičkoj analizi alatnih mašina. Naime, kompozicija alatne mašine u procesu rada može biti dosta promenljiva, a sa njome i njenje dinamičke performanse. Prethodno su za sve podstrukture obradnog centra definisani parcijalni modalni parametri, na bazi kojih su efikasno određeni isti za bilo koju kompoziciju obradnog centra. Na sl. 11 su pokazani parcijalni rezultati takvog proračuna.

## 5. ZAKLJUČAK

Alatne mašine su objekti, sa vrlo kompleksnim dinamičkim ponašanjem, koje može biti u potpunosti identifikovano samo integralnim korišćenjem eksperimentalnih i matematičkih metoda. Prve su bazirane na eksperimentalnoj modalnoj analizi, a druge na metodu konačnih elemenata. U ovom radu je pokazana praktična primena oba postupka na primeru obradnog centra i njegovih komponenti. Definisani modalni parametri omogućuju sagledavanje postojećeg stanja i izvođenje modifikacionog postupka na višem nivou, a sve u cilju poboljšanja dinamičke stabilnosti alatnih mašina u radnim uslovima.

## Reference

- /1/Kalajdžić M., Statika i dinamika alatnih mašina, Saopštenja IAMA, 16(1972).
- /2/Albijić R., Dinamika mašina-naša dosadašnja iskustva LOLA Saopštenja, 22(1987)31.
- /3/Ramsey K.A., Experimental Modal Analysis, Structural Modifications and FEM Analysis on Desktop Computer, Sound and Vibration, Feb. 1983.
- /4/Brown D., Allemang R., Zimmerman R., Mergeay M., Parameter Estimation Technique for Modal Analysis, SAE-paper 790221, 1979.
- /5/Albijić R., Modalna analiza u dinamičkoj identifikaciji mašinskih konstrukcija, LOLA Saopštenja, 21(1986)30.
- /6/Albijić R., Kalajdžić M., Practical Application of Experimental and Mathematical Modal Analysis on Machine Tools, 7th International Modal Analysis Conference and Exhibit, Las Vegas, 1989.
- /7/Bathe K.J., Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice - Hall, 1982.
- /8/Kalajdžić M., Metod konačnih elemenata, Institut IAMA, Beograd, 1978.

## S u m m a r y

Machine tools are structures with a very complex dynamic behaviour. The prediction of the dynamic behaviour in the design stage, as well as the identification of the modal parameters on the real machines and their modification on a higher level, is practically only possible using simultaneously the mathematical and experimental methods. The modal analysis, with its possibilities for accurate and rapid definition of the dynamical parameters, is daily gaining in importance due to the tendency for decreasing the development time for new structures, where only small modifications are allowed after the post-design stage. The machining center and its basic components (substructures) were the subject of detailed study.

