

ORIGINALNI NAUČNI RAD

J.Rekecki, R.Gatalo, J.Hodolič, Lj.Borojev, M.Zeljko*^{*}

PRILOG RAZVOJU KONCEPCIJE **NU** FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH SISTEMA ZA OBRADU ROTACIONIH DELOVA**

Rezime

U radu se izlažu određeni rezultati vezani za stvaranje podloge za definisanje koncepcije NU fleksibilnih proizvodnih sistema i podloga za definisanje karakteristika pojedinih elemenata u NU fleksibilnom proizvodnom sistemu za obradu rotacionih delova. Posebno se izlaže gruba koncepcija celog sistema i koncepcija integralne veze projektovanja tehnološkog procesa i odgovarajućih upravljačkih informacija sa upravljanjem za pojedine elemente fleksibilnog proizvodnog sistema.

A CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF NC FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS FOR ROTATIONAL PARTS MACHINING

Summary

In the paper are presented some results of developing the bases for defining the concept of NC flexible production systems and the bases for defining the characteristics of the elements in the NC flexible production system for rotational parts machining. Particularly, a rough concept of the entire system is given as well as the concept of integral connections of technological process design and appropriate control information with the control for the elements of flexible production system.

^{}) Rekecki dr Jožef, dipl.ing., red.prof; Gatalo dr Ratko, dipl.ing. vanr.prof; Hodolič mr Janko, dipl.ing., asistent; Borojev mr Ljubomir, dipl.ing., asistent; Zeljković Milan, dipl.ing., asistent u naučnom radu, - Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V.Perića-Valtera 2.

**^{*}) Saopštenje je proizašlo iz istraživačkog projekta pod naslovom "ISTRAŽIVANJE PODLOGA ZA RAZVOJ AUTOMATSKIH PROIZVODNIH SISTEMA ZA OBRADU ROTACIONIH IZRADAKA", u čijem finansiranju kroz odgovarajuće podprojekte i teme učestvuje SIZNR Vojvodine

Rad je saopšten na VI jugoslovenskom savetovanju korisnika i proizvodjača NU mašina alatki-**NUMA'82 ROBOTI**, Beograd, 1982.

1. UVOD

Počev od 1980. godine na Institutu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, realizuju se određena istraživanja usmerena na istraživanje podloga za razvoj domaćih rešenja NU fleksibilnih proizvodnih sistema (NU FPS) za obradu rotacionih delova.

Na bazi dosadašnjih istraživanja u radu se izlažu rezultati vezani za stvaranje podloga za definisanje koncepcije NU fleksibilnih proizvodnih sistema i podloga za definisanje karakteristika pojedinih elemenata u NU fleksibilnom proizvodnom sistemu.

Posebno se izlaže gruba koncepcija celog sistema i koncepcija integralne veze projektovanja tehnološkog procesa i upravljačkih informacija, sa upravljanjem za pojedine elemente fleksibilnog proizvodnog sistema.

U završnom delu rada ukazuje se na određena vidjenja mogućnosti da se u narednom periodu dodje do eksperimentalnog rešenja NU FPS za obradu rotacionih delova na bazi domaćih dostignuća.

2. PODLOGE ZA POSTAVLJANJE KONCEPCIJE

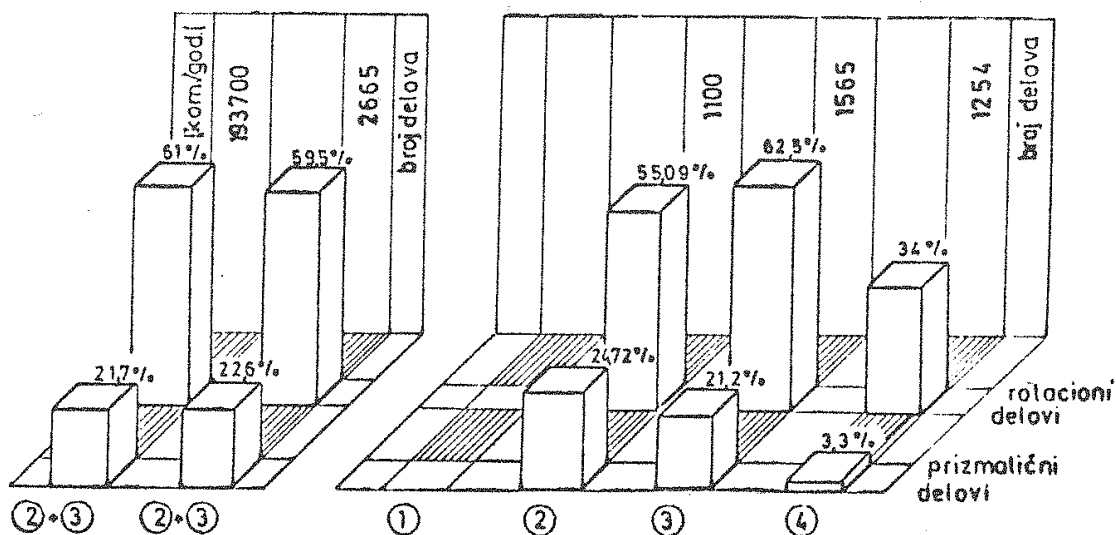
U prethodnom desetogodišnjem periodu u okviru Laboratorije za mašine alatke Instituta za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu intenzivno je radjeno, i postignuti su određeni rezultati, na razvoju mašina alatki sa numeričkim upravljanjem (NU strugovi proizvodnje POTISJE iz Ade) i razvoju sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa pri obradi rotacionih izradaka (SAPOR sistem), a delimično i na razvoju upravljačkih sistema za numerički upravljane mašine alatke (u saradnji sa Institutom za mernu tehniku i upravljanje FTN). Nastavak ovakve istraživačke orijentacije, respektujući pri tome trend razvoja tehnologije u svetu, kao i potrebe i orijentaciju razvoja domaćih proizvođača mašina alatki, predstavljaju istraživanja usmerena na razvoj fleksibilnih proizvodnih sistema.

Za što uspešnije rešavanje postavljenog istraživačkog zadatka neophodno je bilo izvršiti određena prethodna ispitivanja na osnovu kojih bi se mogle, sa dovoljnom pouzdanošću, donositi odluke pri koncipiranju alternativnih rešenja FPS. U tom smislu, za potrebe metaloprerađivačke industrije u okviru određenog indu-

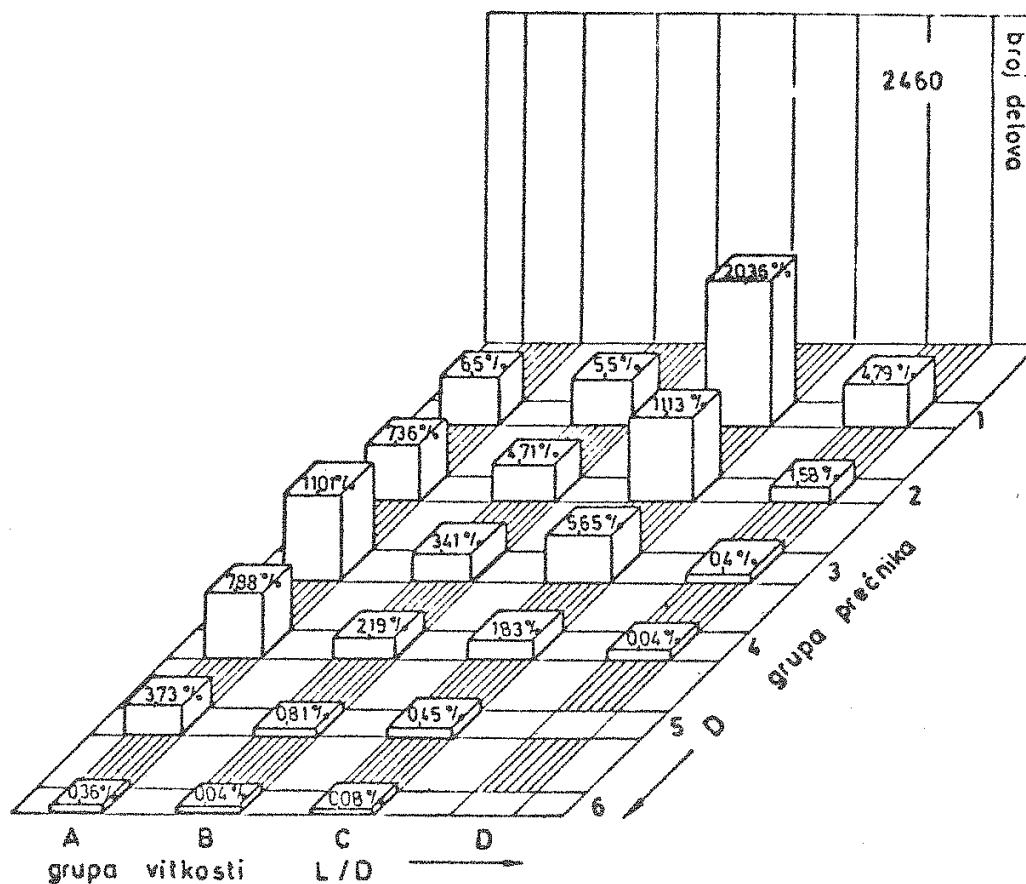
strijskog regiona (sa mogućnošću uopštavanja rezultata i šire), izvršeno je ispitivanje geometrijsko-tehnoloških parametara delova u proizvodnim pogonima, pri čemu se posebna pažnja posvetila analizi rotacionih izradaka. Gornje ima za cilj da se što objektivnije predvide potrebne glavne radne karakteristike obradnih i manipulacionih sistema kao elemenata FPS.

S druge strane, analiza učestanosti osnovnih i pomoćnih oblika (površina) predstavlja solidnu osnovu za razvoj softvera za fleksibilne proizvodne sisteme za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa.

Ukazujući na detaljnije izložene rezultate u literaturi, pod [1] i [3], do kojih se došlo kroz istraživanja u više pogona metaloprerađivačke industrije, ovde se zadržavamo samo na prikazu nekih od rezultata koji su od posebnog interesa za postavljanje koncepcije automatskih fleksibilnih proizvodnih sistema za obradu rotacionih delova. U tom smislu na slici 1. prikazani su rezultati istraživanja učestanosti delova prema osnovnim geometrijskim karakteristikama (podaci za četiri pogona 1,2,3 i 4 i objedinjeni podaci za dva pogona posmatrano kroz broj rotacionih delova i njihovu godišnju proizvodnju).



Sl.1. Učestanost delova prema osnovnim geometrijskim karakteristikama



S1.2. Učestanost delova po grupama vitkosti za sve grupe prečnika

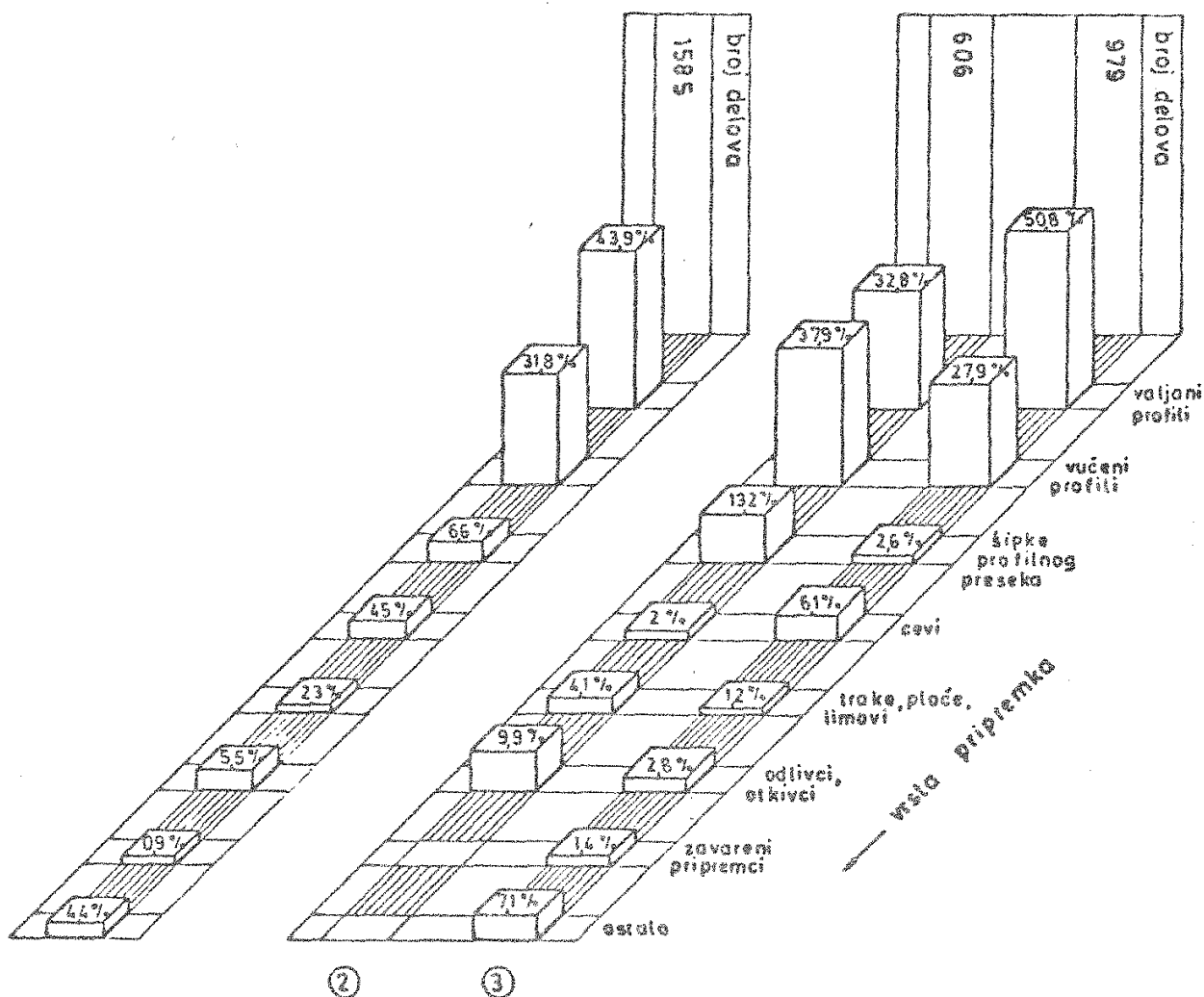
Za posmatrani uzorak od 2460 rotacionih delova, na slici 2 prikazana je učestanost delova, po grupama vitkosti, za određene grupe maksimalnih prečnika delova, uz napomenu da se oznake za grupe vitkosti odnose na

- $L/D \leq 0,5$ grupa vitkosti A
- $0,5 < L/D \leq 1,0$ grupa vitkosti B
- $1,0 < L/D \leq 10,0$ grupa vitkosti C
- $10,0 < L/D$ grupa vitkosti D

dok se oznake za grupe prečnika D (mm) odnose na

- $D \leq 25$ grupa prečnika 1
- $25 < D \leq 50$ grupa prečnika 2
- $50 < D \leq 100$ grupa prečnika 3
- $100 < D \leq 200$ grupa prečnika 4
- $200 < D \leq 400$ grupa prečnika 5
- $400 < D$ grupa prečnika 6.

Za nešto manji uzorak (1585 rotacionih delova iz dva pogona) izvedena su istraživanja vrste pripremk. Rezultati istraživanja (pojedinačni i objedinjeni) prikazani su na slici 3.

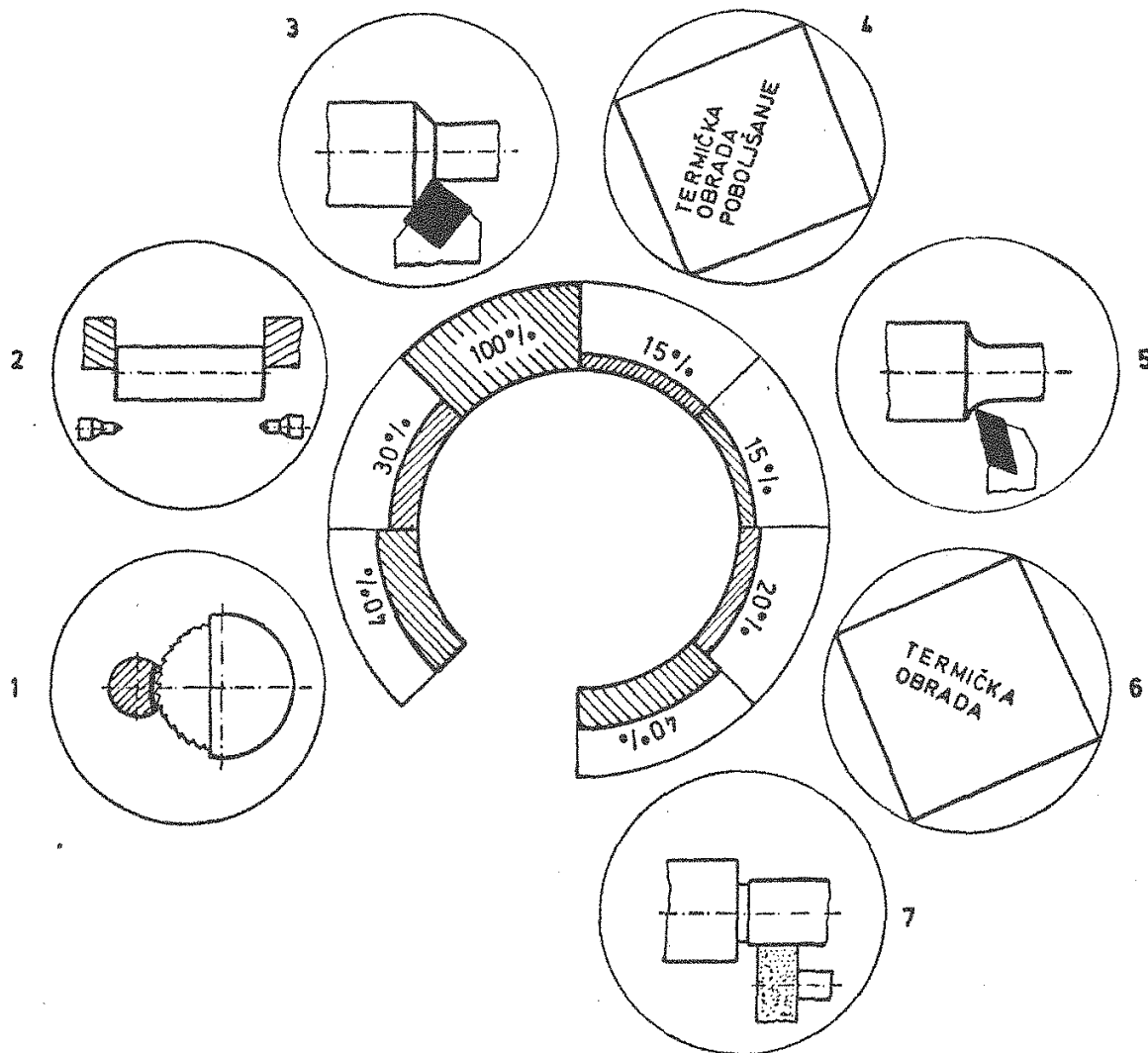


S1.3. Učestanost vrste pripremk za rotacione delove

Za postavljanje ukupne strukture NU FPS za obradu rotacionih delova, od posebnog je značaja učestanost pojedinih vrsta obrada na rotacionim delovima. Odredjena probna istraživanja u tom smislu, koja su se odnosila na učestanost pojedinih obrada na delovima, prikazana na slici 4. u vidu kružnog histograma - zasnovana na brojčanim pokazateljima, mogu se prihvatiti sa velikom rezervom, obzirom da su istraživanja sa stanovišta vremenskih pokazatelja od daleko većeg značaja.

Istraživanja vremenskih zastupljenosti pojedinih vrsta obra-

da na rotacionim delovima različitih klasa prečnika i različitim klasa vitkosti, koja su u toku, treba uskoro da dovedu do daleko adekvatnijih podataka za koncipiranje ukupnih struktura NU FPS.



S1.4. Orientacione učestanosti OPERACIJA OBRADE pri obradi rotacionih delova mašina alatki

Za definisanje glavnih radnih karakteristika pojedinih obradnih sistema kao elemenata u ukupnoj strukturi NU fleksibilnog proizvodnog sistema, značajno je ukazati na mogućnost korišćenja širih rezultata istraživanja [1],[3] u tu svrhu. Prihvatajući uslovne rezultate istraživanja prikazane na slici 4, da primarni obradni sistemi u ukupnom NU FPS treba da budu:

- a) NU mašina za odsecanje
- b) NU mašina za obradu krajeva
- c) NU strugovi
- d) NU brusilica

na slici 5a,b,c,d je učinjen pokušaj da se za navedene obradne sisteme povežu rezultati istraživanja učestanosti sa potrebnim karakteristikama obradnog sistema u pogledu

- maksimalnog prečnika obrade i
- maksimalne dužine obrade.

Pored toga, za NU mašine za obradu struganjem prikazani su podaci o učestanosti složenosti konture, u smislu:

- C - čisto cilindrični oblici konture
- K - konični oblici konture (koji uključuju i C)
- T - torusni oblici konture (koji uključuju C i K)
- E - ekscentrični oblici konture (koji uključuju C, K i T),

koji su od značaja za definisanje mogućnosti upravljačkog sistema mašine (linijska ili kružna interpolacija).

3. KONCEPCIJA NU FLEKSIBILNOG PROIZVODNOG SISTEMA ZA OBRADU ROTACIONIH DELOVA

Osnovnu strukturu automatskog (NU) fleksibilnog proizvodnog sistema, prema [6] čine:

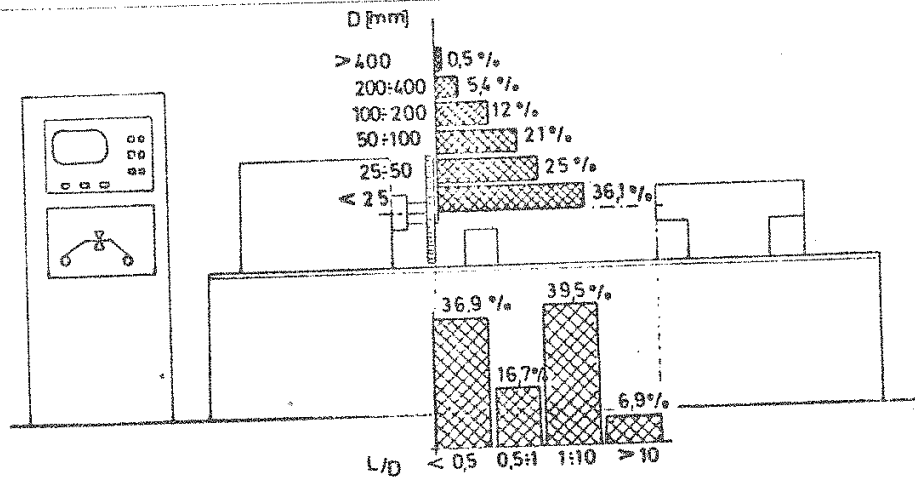
- obradni sistemi
- manipulacioni sistemi
- kontrolni sistemi
- sistem skladišta
- procesni računar.

Za kompleksno posmatranje NU fleksibilnog proizvodnog sistema neophodno je u širu strukturu uključiti (slika 6) i:

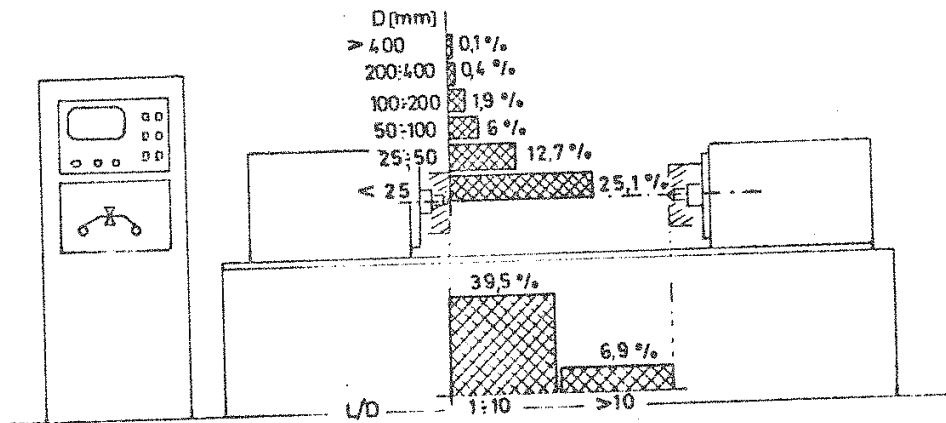
- transportni sistem i
- centralni računarski sistem.

Pri tome treba naglasiti da isticanje transportnog sistema u ukupnoj strukturi NU FPS predstavlja ograničenje manipulacionog sistema na čistu manipulaciju u okviru jednog ili više obradnih i

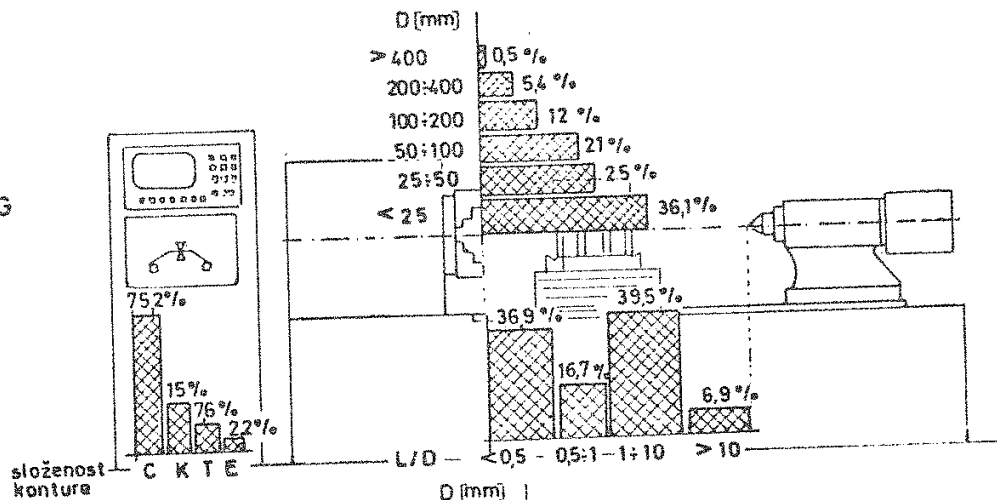
a) NU MAŠINA ZA ODSECANJE



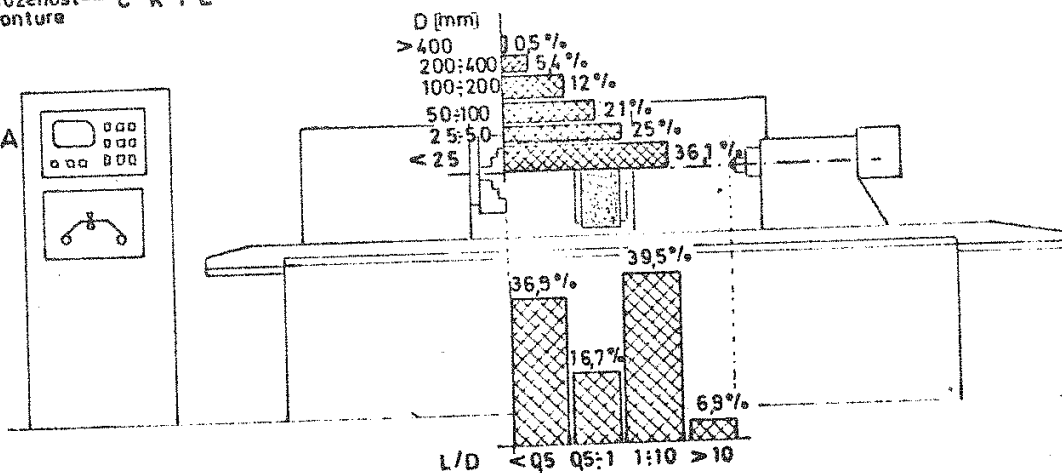
b) NU MAŠINA ZA OBRADU KRAJEVA



c) NU STRUG



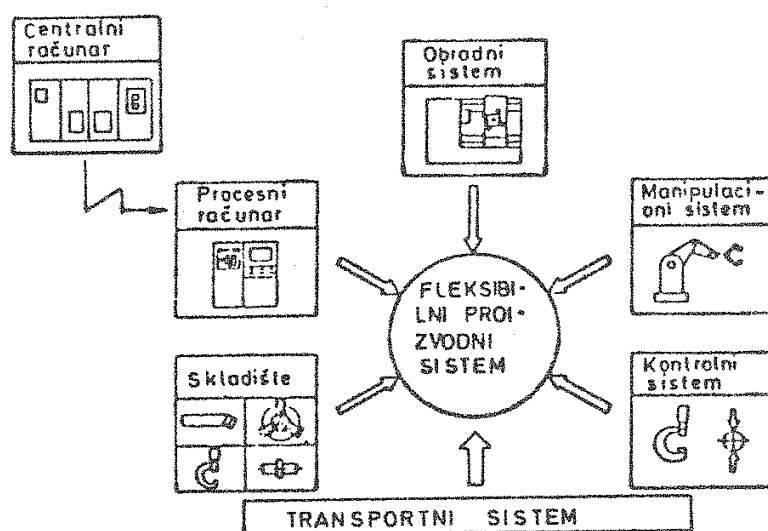
d) NU BRUSILICA



S1.5. Podloge za definisanje glavnih radnih karakteristika obradnih sistema

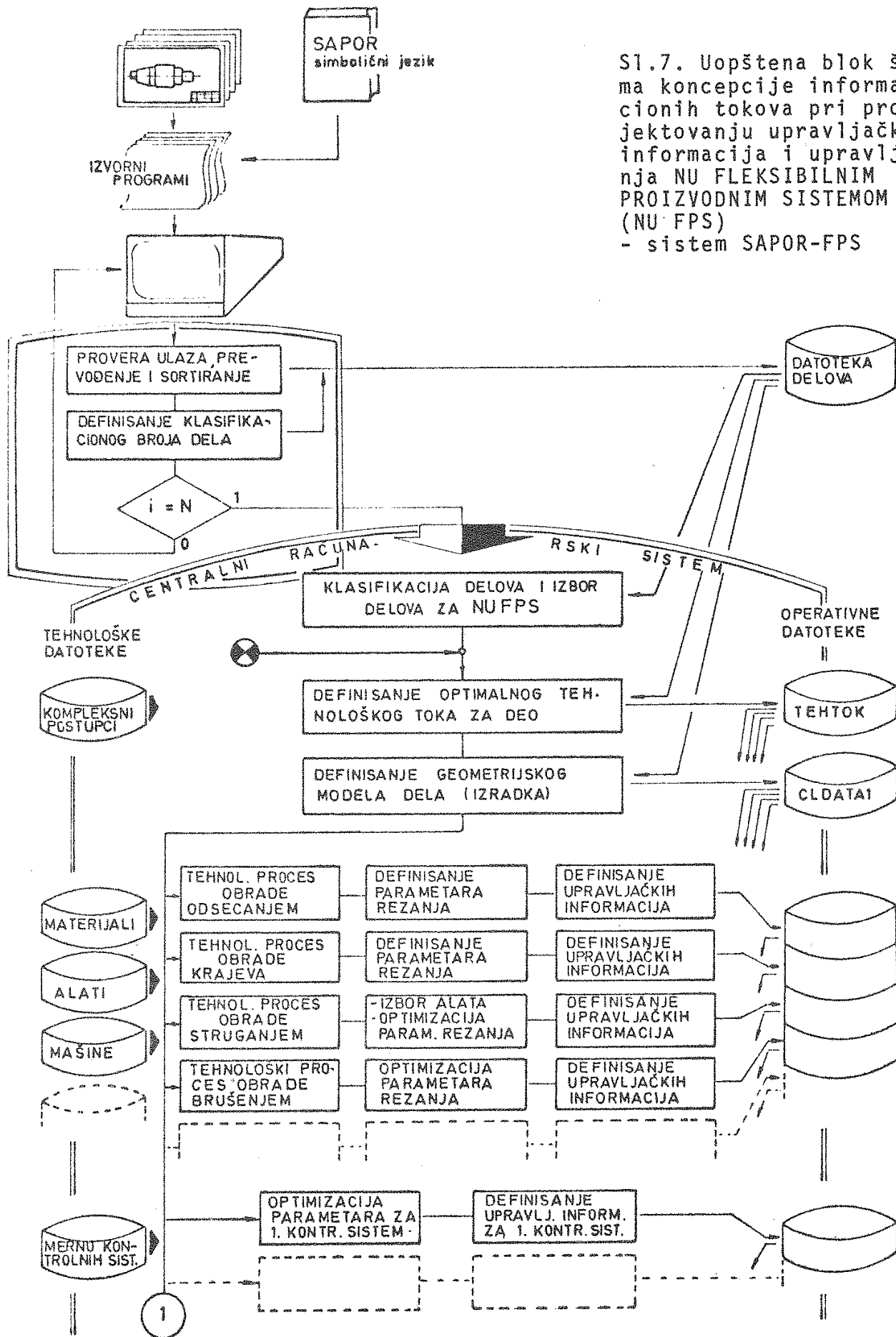
merno-kontrolnih sistema i manipulaciju u okviru skladišnog i medjuskладиšnog sistema.

Uvodjenje centralnog računarskog sistema u ukupnu strukturu NU FPS proizilazi iz potrebe da se ukupni NU FPS posmatra kao sistem na najvišem nivou automatizacije, koji omogućava ON LINE vezu procesa automatskog projektovanja tehnološkog procesa i upravljačkih informacija za sve elemente sistema, sa upravljanjem uže celine FPS sistema i svih njegovih elemenata, uključujući za budućnost i mogućnost upravljanja kompletnom pripremom sistema za konkretnu proizvodnju.



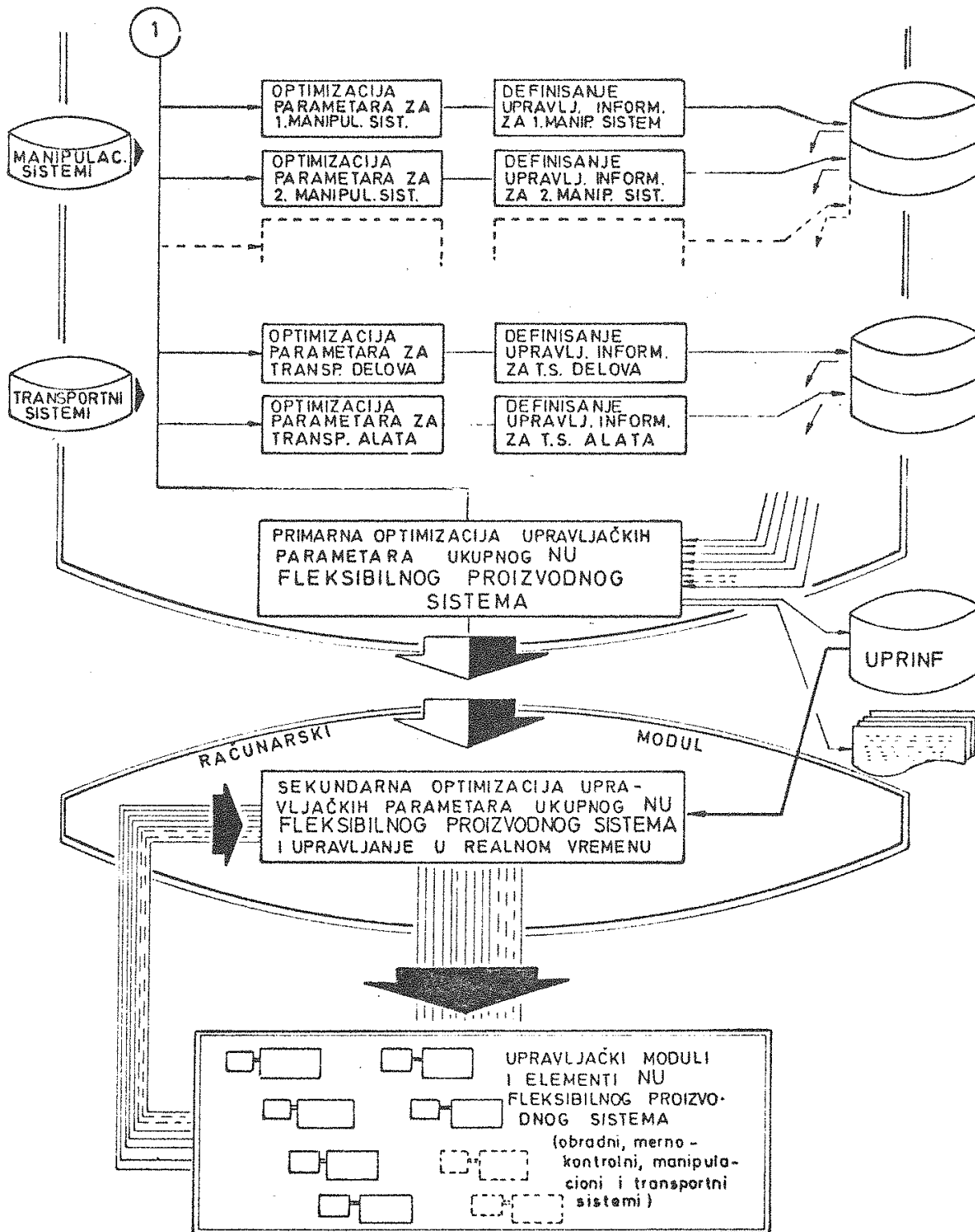
Slika 6. Komponente fleksibilnog proizvodnog sistema

Za tako postavljenu koncepciju šire strukture automatskog fleksibilnog proizvodnog sistema za obradu rotacionih delova pored ostalog učinjen je pokušaj da se postavi grubi model koncepcije informacionih tokova pri projektovanju upravljačkih informacija i upravljanja NU fleksibilnim proizvodnim sistemom. Takav model, prikazan na slici 7, u ovoj fazi ne bazira na ON LINE povezivanju faza projektovanja tehnološkog procesa i upravljačkih informacija sa fazom sekundarne optimizacije upravljačkih parametara ukupnog NU FPS i njegovog upravljanja u realnom vremenu, jer je u ovom trenutku teško prihvatiti tezu da se i celokupna priprema FPS i njegovih komponenata i mnoge druge pripremne radnje vezane za alat, pribor, pripremak itd. mogu u potpunosti automatizovati.



Sl.7. Uopštena blok šema koncepcije informacionih tokova pri projektovanju upravljačkih informacija i upravljanja NU FLEKSIBILNIM PROIZVODNIM SISTEMOM (NU FPS)
- sistem SAPOR-FPS

S1.7. - nastavak



Zato je rešenje koncipirano sa OFF LINE vezom, pri čemu je faza projektovanja tehnološkog procesa izrade i upravljačkih informacija koja se završava sa uslovno nazvanom "primarnom" optimizacijom upravljačkih parametara ukupnog NU FPS, grubo razrađena po fazama (modulima) i podfazama (podmodulima).

Navedeno rešenje koncipirano je na bazi dosadašnjih iskustava i rezultatima razvoja SAPOR sistema [7], i posebno SAPOR-S sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa i upravljačkih informacija za NU mašine za obradu struganjem kao i na bazi opšte koncepcije SAPOR simboličnog jezika.

U modelu (slika 7) posebno je istaknut podsistem koji se odnosi na formiranje matične datoteke svih rotacionih delova, koji u principu može, a i ne mora, da bude sastavni deo glavnog programskog sistema SAPOR-FPS, pri čemu matična datoteka delova sadrži SAPOR izvorni oblik geometrijskih i tehnoloških informacija o delu i njegov klasifikacioni broj, kao i informacije o pripremkama. Glavni programski sistem SAPOR-FPS obuhvata pripreme module: (i) klasifikacija delova i izbor delova za NU FPS, (ii) definisanje optimalnog tehnološkog toka za deo, i (iii) definisanje geometrijskog modela dela (izradka).

Moduli koji se odnose na definisanje tehnološkog procesa obrade uključivo do definisanja odgovarajućih upravljačkih informacija za pojedine vrste obrade, odnosno za pojedine obradne sisteme u NU FPS, segmentisani su na odgovarajuće podmodule. Slična koncepcija prisutna je i kod projektovanja upravljačkih informacija za merno-kontrolne sisteme, manipulacione sisteme i transportne sisteme. Poslednji modul u sistemu, uslovno nazvan: modul za "primarnu" optimizaciju upravljačkih parametara ukupnog NU FPS, treba da obezbedi: optimizaciju upravljačkih parametara svih elemenata FPS sa stanovišta njihovog koordiniranog rada i odgovarajuće prilagodjavanje upravljačkih informacija.

Podršku za funkcionisanje celog programskog sistema predstavljaju odgovarajuće informacione podloge (datoteke informacija) o kompleksnim postupcima, materijalima i njihovoj obradivosti, alatima, mašinama, merno-kontrolnim sistemima, manipulacionom sistemu, transportnom sistemu itd.

4. MOGUĆNOST POSTAVLJANJA EKSPERIMENTALNOG REŠENJA NU FLEKSIBILNOG PROIZVODNOG SISTEMA ZA OBRADU ROTACIONIH DELOVA

Za realizaciju dugoročno postavljenih zadataka, vezanih za istraživanje podloga za razvoj domaćih rešenja automatizovanih proizvodnih sistema [2] čini se vrlo značajnim zadržati se ovde na dva pitanja, i to:

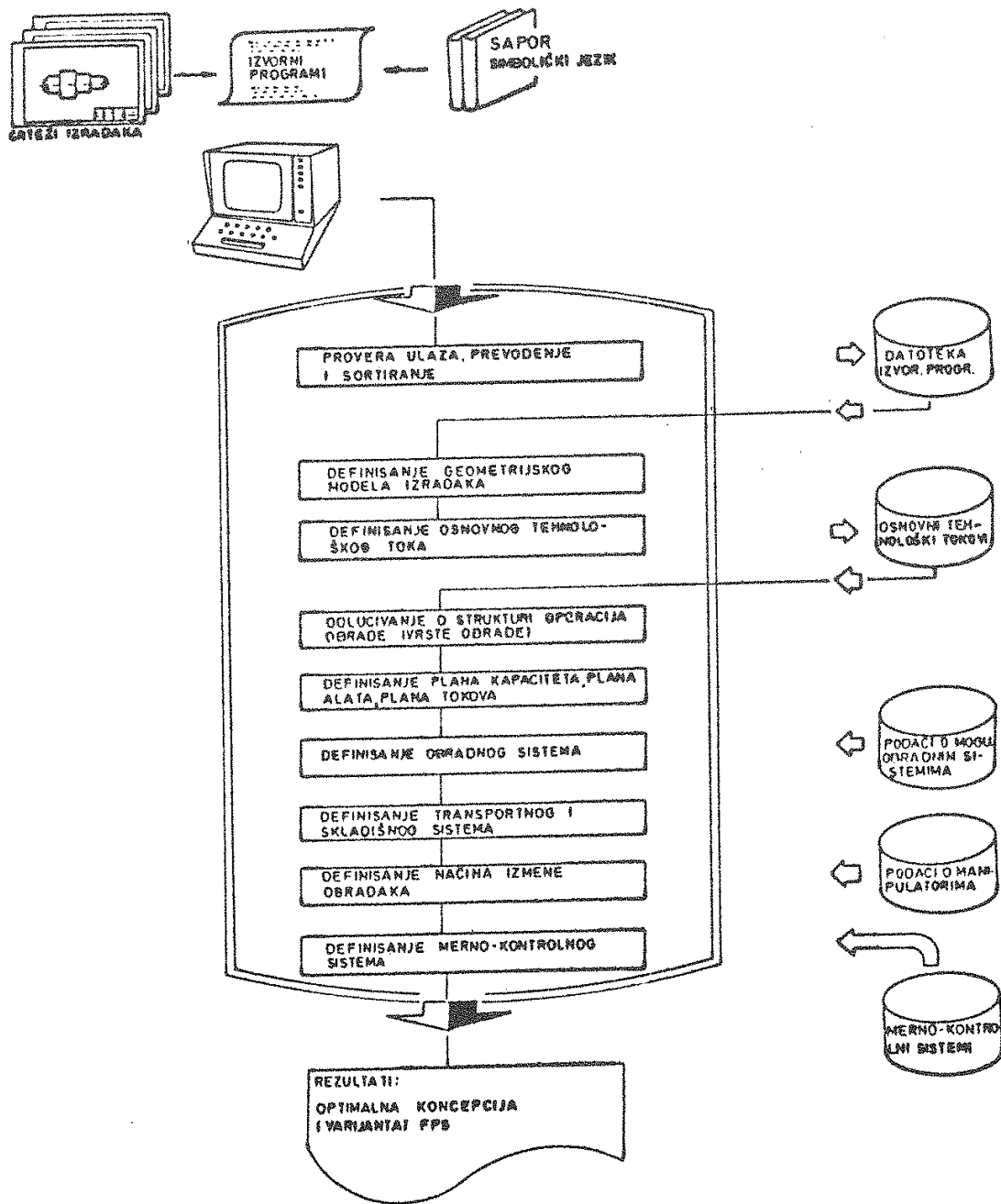
- a) razvoj programskog sistema za projektovanje konkretnih FPS za određeni spektar izradaka
- b) postavljanje eksperimentalnog rešenja NU fleksibilnog proizvodnog sistema u domaćim uslovima.

a) Razvoj programskog sistema za projektovanje konkretnih FPS za određeni spektar rotacionih izradaka proizilazi iz potrebe da se pri projektovanju konkretnih automatizovanih FPS dodje što brže do optimalnog rešenja (optimalne varijante) FPS za konkretni spektar delova, koja će obezbediti ekonomičnu eksploataciju takvih sistema u proizvodnom pogonu.

Imajući u vidu u svetu postignute rezultate u području automatskog projektovanja FPS sa optimalnim karakteristikama, uz uvažavanje složenosti i obimnosti razvoja ovakvog postupka, ovde se želi ukazati na određena razmišljanja [2] i dileme oko mogućnosti primene nekih modula programskog sistema SAPOR-S u cilju automatizacije određenih aktivnosti pri projektovanju FPS za obradu rotacionih delova.

Naime, za definisanje obradnih stanica u FPS za određeni spektar izradaka potrebno je poznavanje svih potrebnih operacija za obradu navedenog spektra, što zahteva definisanje osnovnog tehnološkog toka za svaki izradak. Definisanje osnovnog tehnološkog toka u SAPOR sistemu [7] izvodi se preko odgovarajućeg programskog modula (TEHTOK) na bazi ulaznih informacija sadržanih izvornim programom za svaki izradak, iz spektra izradaka za koje se projektuje FPS.

Nadgradnjom koncepcije definisanja osnovnog tehnološkog toka, može se definisati odgovarajućim programskim modulom SAPOR-S sistema, redosled podoperacija unutar operacije struganja, odnosno redosled grupa zahvata unutar podoperacije struganja. Na osnovu



Sl.8. Model sistema za automatizaciju projektovanja FPS

datoteka NUMA za obradu struganjem, koje su dostupne na tržištu, a korišćenjem odgovarajućeg programa MASIN u SAPOR-S sistemu, moguće je izvršiti automatski izbor mašina za svaku podoperaciju struganja svakog izradka iz datog spektra delova.

Daljom nadgradnjom, sada već novog sistema, kroz proširenje prethodnih modula i za druge karakteristične obrade kod rotacionih izradaka i dogradnjom sa novim modulima u skladu sa slikom 8, dolazi se do modela sistema za automatsko projektovanje optimalne varijante FPS uz delimično korišćenje odgovarajućih programskih modula SAPOR-S sistema.

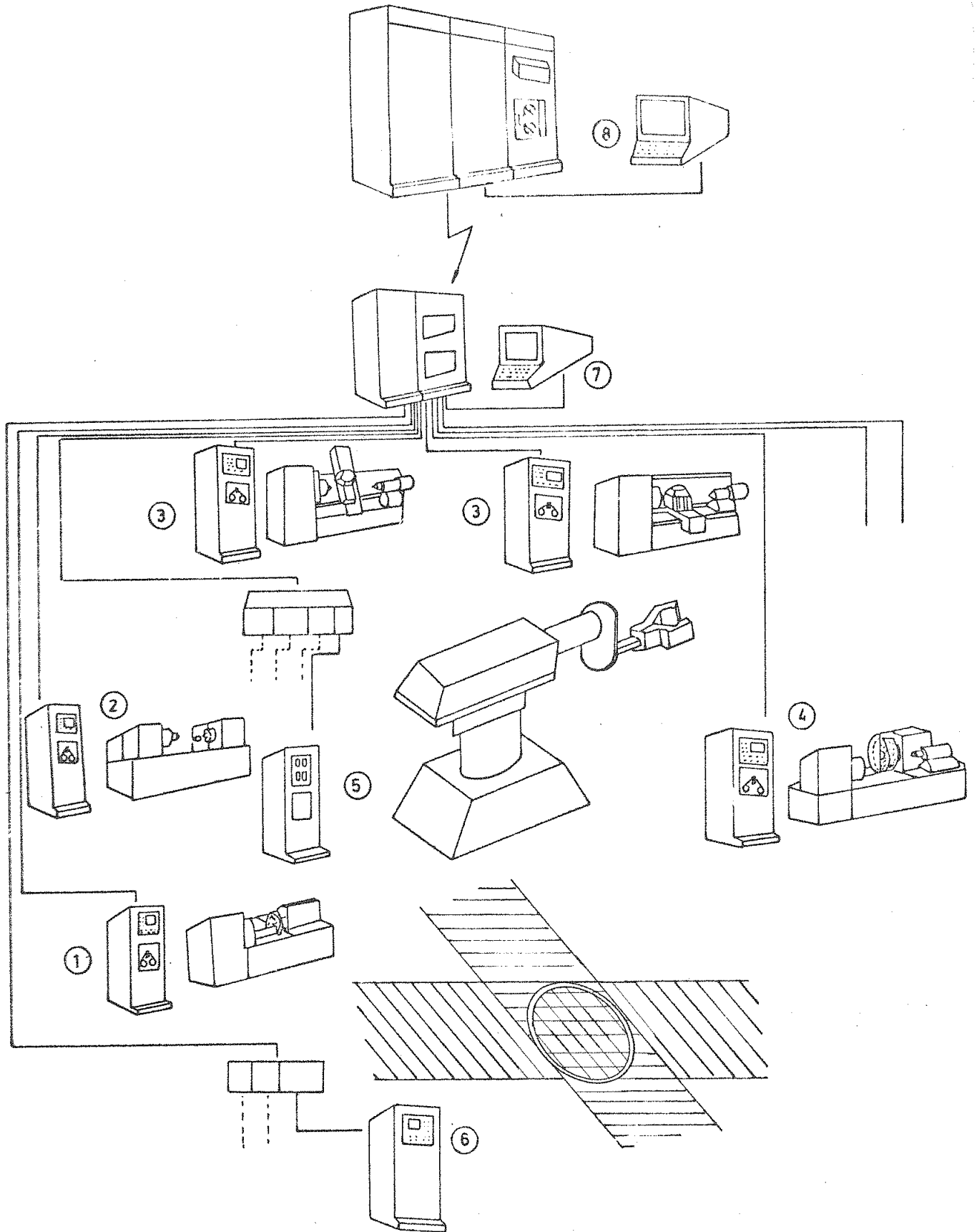
Pored toga, prikazani model omogućio bi i izbor odgovarajućih manipulacionih i merno-kontrolnih sistema, odnosno posmatrano u celini, omogućio bi projektovanje optimalne koncepcije fleksibilnog proizvodnog sistema.

Primenom takvog sistema bilo bi moguće doći do najpogodnije strukture FPS u pogledu potrebnih operacija koje treba da obezbeđuje kao i najprikladnijih NU obradnih sistema za obradu datog spektra delova.

b) Postavljanje eksperimentalnog rešenja NU fleksibilnog proizvodnog sistema u domaćim uslovima, u cilju stvaranja uslova za podršku ukupnim istraživanjima podloga za razvoj NU FPS, predstavlja bitan preduslov za uspešnu realizaciju programa istraživanja. Napori da se dodje do takvih rešenja evidentni su i u drugim istraživačkim centrima [4][5], pri čemu je prisutna orijentacija na sisteme za prizmatične oblike izradaka.

Za postavljanje domaćeg eksperimentalnog rešenja NU FPS za rotacione izradke bazu predstavljaju dosadašnji rezultati domaćih proizvodjača mašina alatki, u razvoju mašina alatki sa numeričkim upravljanjem (POTISJE-Ada, LZTK-Kikinda), kao i domaći rezultati u razvoju manipulacionih sistema [8][9], te najzad odredjeni domaći rezultati u razvoju i proizvodnji računarskih sistema i njihovih komponenata.

Kako u ovom trenutku na bazi takvih preduslova moguće je postaviti samo grubu koncepciju jednog takvog eksperimentalnog NU FPS, koja tek u narednom periodu treba da doživi detaljnu razradu, ovde se zadržavamo samo na prikazu takve grube koncepcije (sl.9).



Sl.9. Gruba koncepcija eksperimentalnog rešenja NU fleksibilnog proizvodnog sistema za obradu rotacionih delova

U postavljanju navedene koncepcije eksperimentalnog NU FPS za obradu rotacionih delova-izradaka pored istraživanja izloženih u prethodnom delu ovog rada korićena su odredjena istraživanja drugih autora, npr. [10][4]. Koncepcija kao takva obuhvata komponente:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1. NU mašina za odsecanje | 5. Manipulacioni sistemi |
| 2. NU mašina za obradu krajeva | 6. Transportni sistem |
| 3. NU mašina za obradu struganjem | 7. Upravljački računarski modul |
| 4. NU mašina za obradu brušenjem | 8. Centralni računarski sistem |

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Dosadašnji rezultati istraživanja podloga za razvoj NU FPS za obradu rotacionih delova-izradaka, nemaju spektakularni karakter, ali itekako predstavljaju daljni doprinos razvoju domaćih rešenja NU FPS.

U radu izloženi rezultati, ideje i predložena koncepciona rešenja, otvaraju niz dilema, problema i zadataka za naredni period. Njihovim rešavanjem doprineće se bržem stvaranju domaćih rešenja NU FPS.

Pri tome se posebno ukazuje da je celokupna problematika usmerena na razvoj automatizovanih FPS vrlo kompleksna i interdisciplinarnog karaktera, i kao takva zahteva značajno angažovanje finansijskih sredstava, kadrova i opreme u dužem vremenskom periodu, što sve zahteva direktnu podršku zainteresovanih organizacija udruženog rada iz procesa materijalne proizvodnje.

LITERATURA

- [1] Gatalo, R., Rekecki, J., Borojev, Lj., Hodolić, J., Zeljković, M.: Istraživanja učestanosti oblika delova i njihovih elementarnih površina kao podloga za koncipiranje NU FPS i uopšte proizvodnih sistema za potrebe metaloprerađivačke industrije, VIII JUPITER konferencija, Zvečevo, 1982.
- [2] Rekecki, J., Gatalo, R., Borojev, Lj., Hodolić, J., Zeljković, M.: Razvoj NU fleksibilnih proizvodnih sistema u domaćim uslovima - značajan istraživački zahvat u narednom periodu, VIII JUPITER konferencija, Zvečevo, 1982.

- |3| 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 mašinstvi FTN, Novi Sad, 1981.
- |4| Milačić,V., Glavonjić,M., Majstorović,V.: Analiza razvoja fleksibilnih tehnoloških sistema u svetu, VIII JUPITER konferencija, Zvečevo, 1982.
- |5| Spasić,Z., Pilipović,M.: Osnovne postavke za projektovanje tehnoloških ćelija, VIII JUPITER konferencija, Zvečevo,1982.
- |6| Spur,G., Mattle,P., Rittinghausen,H., Schöning,K.V.: Modular Flexible Manufacturing System for Rotational Parts, Annals of the CIRP, 1/1976
- |7| Gatalo,R., Rekecki,J., Hodolič,J., Borojev,Lj., Zeljković,M. Milošević,V., Konjović,Z., Malbaški,D.: The Automatic Design of the Technological Process of NC Lathes by the Use of SAPOR-S System, VI International Conference on Production Research, Novi Sad, 1981.
- |8| Vukobratović,M., Hristić,D.: Primena robota u industriji, Drugo jugoslovensko savetovanje korisnika i proizvođača numerički upravljanih mašina alatki i robota, Beograd, 1978.
- |9| Ilić,B., Medved,B.: Koncept upravljanja industrijskih manipulatora iz familije FAM, III jugoslovensko savetovanje NUMA'79 ROBOTI, Beograd, 1979.
- |10| Weck,M., Zenner,K., Tüchelmann,Y., Zühlke,D.: Concept of Integrated Data Processing in Computer Controlled Manufacturing Systems (FAMS), INT.J.PROD.RES., 3/1980