

ORIGINALNI NAUČNI RAD

J. Rekecki, R. Gatalo, M. Zeljković, J. Hodolić, Lj. Borojev*

PRILOG RAZVOJU KONCEPCIJE NU FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH
STRUKTURA ZA OBRADU ROTACIONIH IZRADAKA **

Rezime

Polazeći od istraživanja iz ranijeg perioda u radu se izlažu najnovije informacije u vezi sa sistematizovanjem koncepcija numerički upravljanih (NU) fleksibilnih tehnoloških struktura (modula, ćelija, sistema) za obradu rotacionih izradaka. Pri tome se kao podloga za postavljanje koncepcija koriste rezultati istraživanja karakteristika delova i njihovog procesa izrade, kao i istraživanja karakteristika razvijenih fleksibilnih tehnoloških struktura.

A CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF CONCEPTION OF NC
FLEXIBLE MANUFACTURING STRUCTURES FOR ROTATIONAL PARTS
MACHINING

Summary

This paper presents newest informations about classification of the concepts which are used by designing numerically controlled (NC) flexible manufacturing structures (modules, cells, systems) for rotational parts machining. The used criteria are based on results originating from researches which have been done about parts characteristics, their production process and researches concerning characteristics of developed flexible manufacturing structures.

* Rekecki dr Jožef, dipl.ing., redovni profesor; Gatalo dr Ratko, dipl.ing. redovni profesor, Zeljković mr Milan, dipl. ing., asistent; Hodolić mr Janko dipl.ing., asistent, Borojev mr Ljubomir, dipl.ing., asistent - Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, V.Perića-Valtera 2

** Rad je proizišao iz istraživačkog projekta pod nazivom FLEKSIBILNI AUTOMATSKI PROIZVODNI SISTEMI U OBLASTI ALATNIH MAŠINA, čiju realizaciju finansira SIZ za naučni rad Vojvodine.

1.0 UVOD

Nakon realizacije prve faze (1981-1986. godine) [4][7][6] u Institutu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, započeta je druga faza istraživačkog programa usmerenog na stvaranje podloga za razvoj fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih delova - izradaka.

Kao i u prethodnoj fazi i u ovoj fazi je jedan od pravaca istraživanja bio usmeren na koncepcije numerički upravljanih (NU) fleksibilnih tehnoloških struktura (modula, ćelija i sistema). Odredjeni rezultati istraživanja u vezi sa ovom problematikom izloženi su u radu [9]. U odnosu na navedeni rad ovaj rad u suštini predstavlja njegov nastavak.*

Pri tome se u radu polazi od najnovijih rezultata istraživanja podloga bitnih za postavljanje koncepcije. Posebno se ukazuje na neke od rezultata učestanosti rotacionih izradaka i vremenskih parametara procesa njihove obrade, kao i neke od rezultata istraživanja karakteristika u svetu razvijenih fleksibilnih tehnoloških (FT) struktura.

Kao nadgradnja tih razmatranja izlažu se koncepcije fleksibilnih tehnoloških modula (FTM), fleksibilnih tehnoloških ćelija (FTĆ), i fleksibilnih tehnoloških sistema (FTS) za obradu rotacionih izradaka.

2.0 BAZA ZA POSTAVLJANJE KONCEPCIJA

Pod pojmom koncepcije automatskih (ili NU) fleksibilnih tehnoloških struktura, kao što su FTM, FTĆ i FTS, ovde se prvenstveno podrazumeva:

- princip komponovanja,
- sastav (po vrsti i količini) i
- raspored

unutar takvih tehnoloških celina za automatizovanu proizvodnju.

*) Skup okolnosti doveo je do toga da je rad pod [9] štampan posle štampanja ovog rada.

Za postavljanje koncepcije navedenih fleksibilnih tehnoloških struktura, neophodno je na početku razmotriti neka od osnovnih pitanja. Ta pitanja ukratko se diskutuju u nastavku.

1. Sastav fleksibilnih tehnoloških struktura u principu se razlikuje zavisno od prisutnosti termičke obrade i brušenja u tehnološkom procesu, broju mašina za obradu (posebno mašina za obradu struganjem) i pripadnosti delova određenoj klasi ili podklasi i sl.

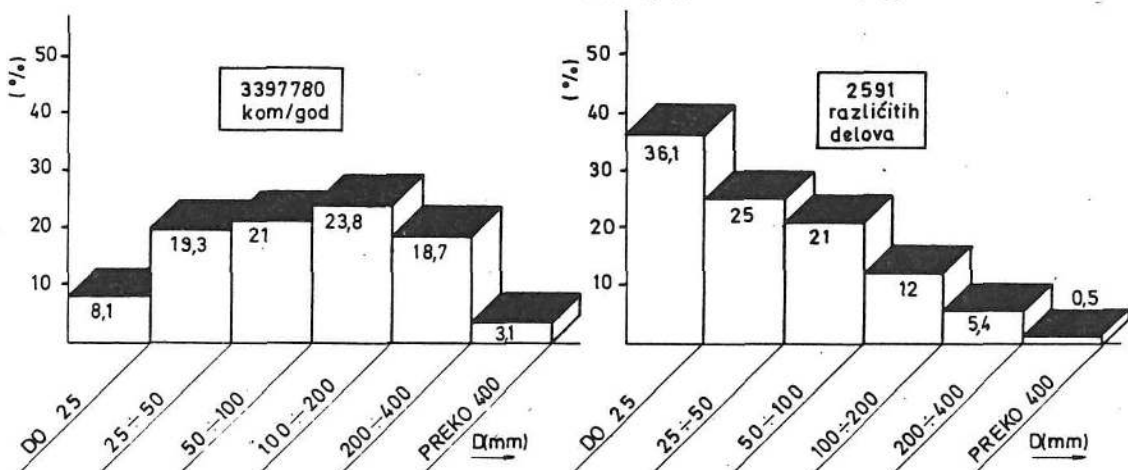
U vezi sa ovim poslednjim došlo se do dva reprezentna skupa rotacionih delova i to:

- rotacioni delovi u obliku VRATILA; i
- rotacioni delovi u obliku DISKA

Za oba skupa delova kao polufabrikat mogu doći u obzir odlivci, otkovci i isparčani delovi šipkastog materijala, a u kranjem slučaju i šipkasti materijal.

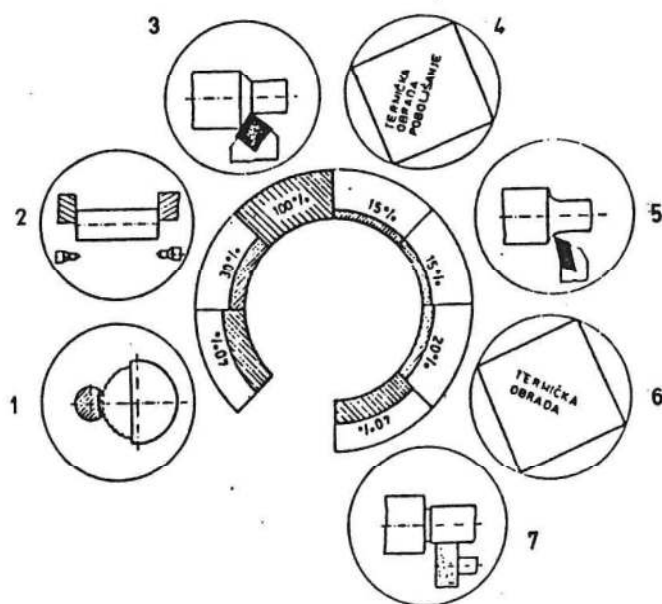
Koncepcija u ovoj fazi pretpostavlja postojanje odgovarajućih kapaciteta za termičku obradu, što znači da se termička obrada ne uključuje u ukupnu strukturu FTS.

2. Istraživanja karakterističnih parametara delova u proizvodnim pogonima metalne industrije [7][6][4] predstavljaju jednu od ključnih polaznih osnova za definisanje sastava FTS i karakteristika njihovih komponenata. Na slici 1 prikazan je jedan segment rezultata pomenutih istraživanja koji mogu predstavljati osnovu za definisanje karakteristika komponenata FTS.



Sl. 1. Učestanost rotacionih izradaka po grupama prečnika

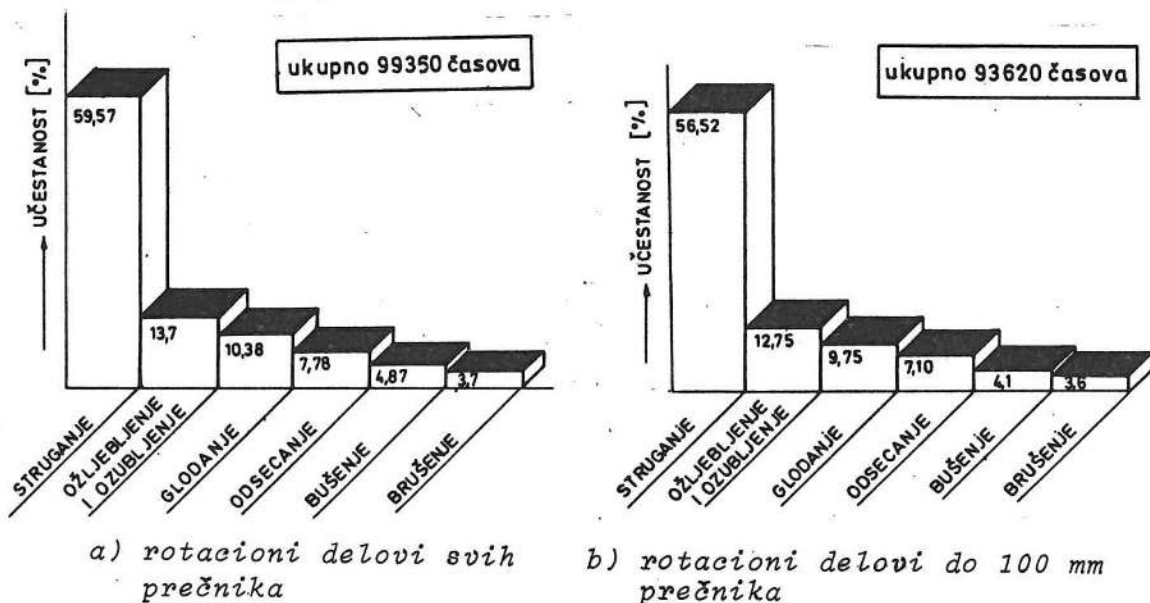
Za postavljanje ukupne strukture NU FTS za obradu rotacionih izradaka, od posebnog je značaja učestanost pojedinih vrsta obrada na rotacionim delovima. Odredjena istraživanja, u tom smislu, koja su se odnosila na učestanost pojedinih obrada na delovima, prikazana na slici 2, u vidu kružnog histograma - zasnovana na brojčanim pokazateljima, mogu se prihvatiti sa velikom rezervom, obzirom da su istraživanja sa stanovišta



Sl. 2. Orientacione učestanosti OPERACIJA OBRADÉ pri obradi rotacionih delova mašina alatki

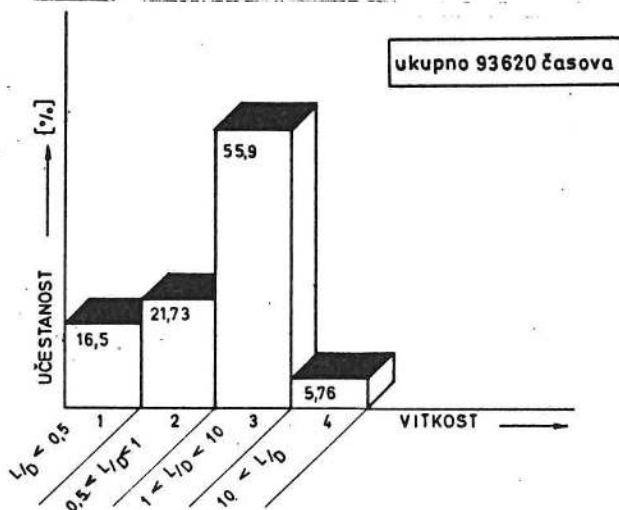
vremenskih pokazatelja od daleko većeg značaja.

Istraživanja vremenskih zastupljenosti pojedinih vrsta obrada na rotacionim delovima različitih klasa prečnika i različitih klasa vitkosti, koja su do sada delimično obavljena daju daleko adekvatnije podatke za koncipiranje ukupnih struktura NU FTS. Navedeni rezultati, prikazani na slici 3, pokazuju raspodelu vremena obrade po vrstama operacija za godišnju proizvodnju - svih rotacionih delova (a) i rotacionih delova područja prečnika do 100 mm.



Sl. 3. Raspodela vremena obrade po vrstama operacija za godišnju proizvodnju (rezultati se odnose na proizvodnju poljoprivrednih mašina) |10|

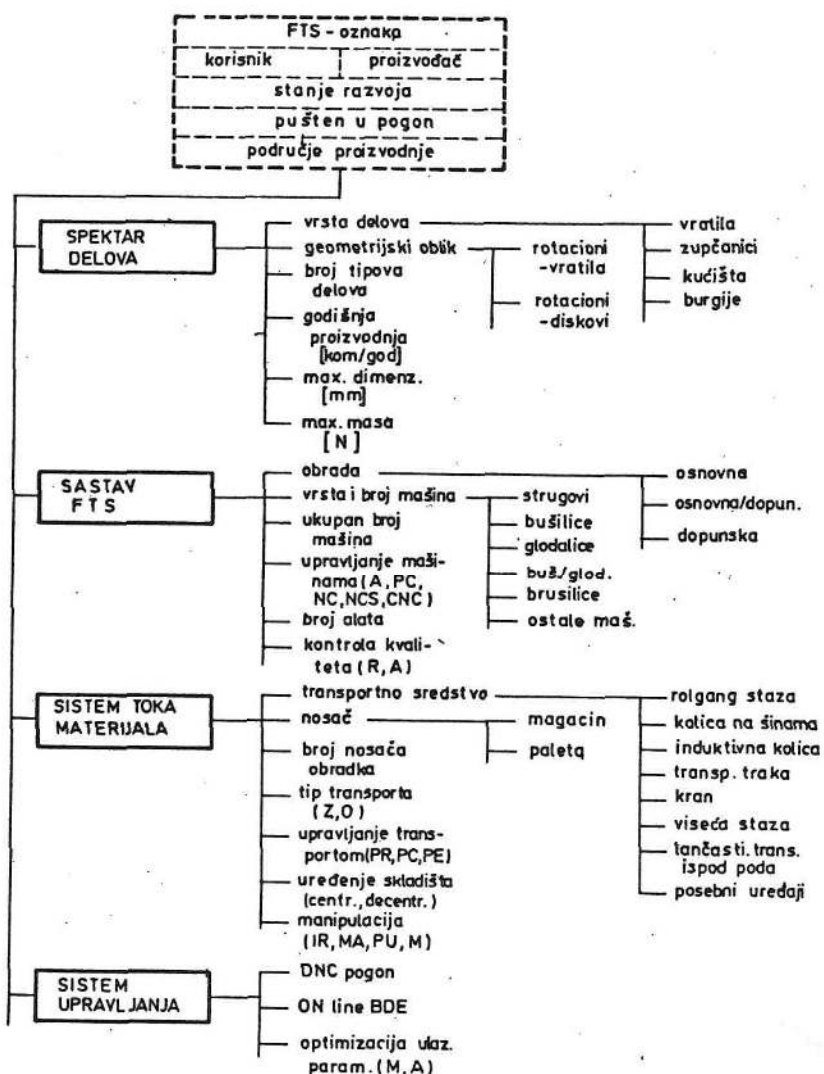
Rezultati se odnose na delove poljoprivrednih mašina. Pri tome je za posmatrani uzorak prikazan na slici 3b učestanost delova po vitkosti bila kao na slici 4.



Sl. 4. Učestanost vremena obrade po grupama vitkosti delova za godišnju proizvodnju rotacionih delova do 100 mm prečnika |10|

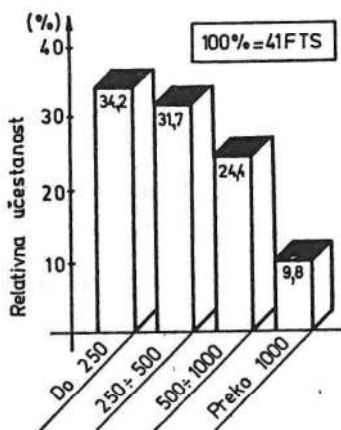
3. Za definisanje sastava FTS, svakako da od velike koristi mogu da budu saznanja proistekla iz istraživanja u svetu razvijenih FTS, |2||3||5||8||11|. Odredjena istraživanja karakteristika razvijenih FTS u svetu, za obradu rotacionih izradaka,

sprovedena u Institutu za proizvodno mašinstvo [7][9][10], po metodologiji prikazanoj na slici 5. pokazala su niz značajnih rezultata.

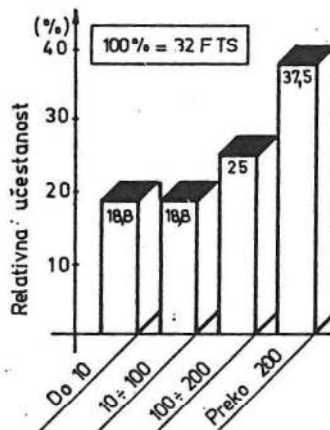


Sl. 5. Metodološka struktura analize razvijenih FT struktura višeg nivoa složenosti (FT ćelija i FT sistema).

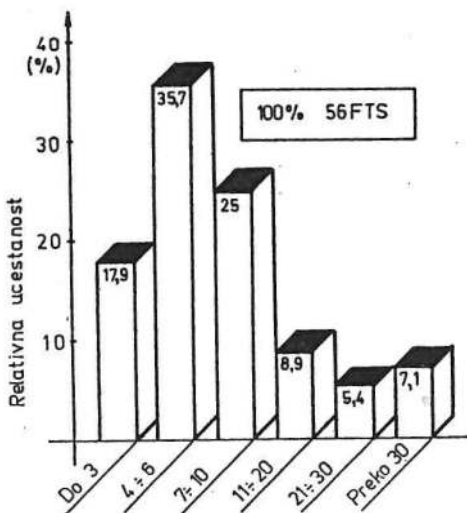
Od ukupne analize 63 FT strukture (analiza iz prethodnog perioda obuhvatilo je samo 35 FT strukture [9]) višeg nivoa složenosti (FTĆ i FTS) ovde se zadržavamo samo na nekim od rezultata. Na slikama 6 i 7 prikazana je učestanost FT struktura pre



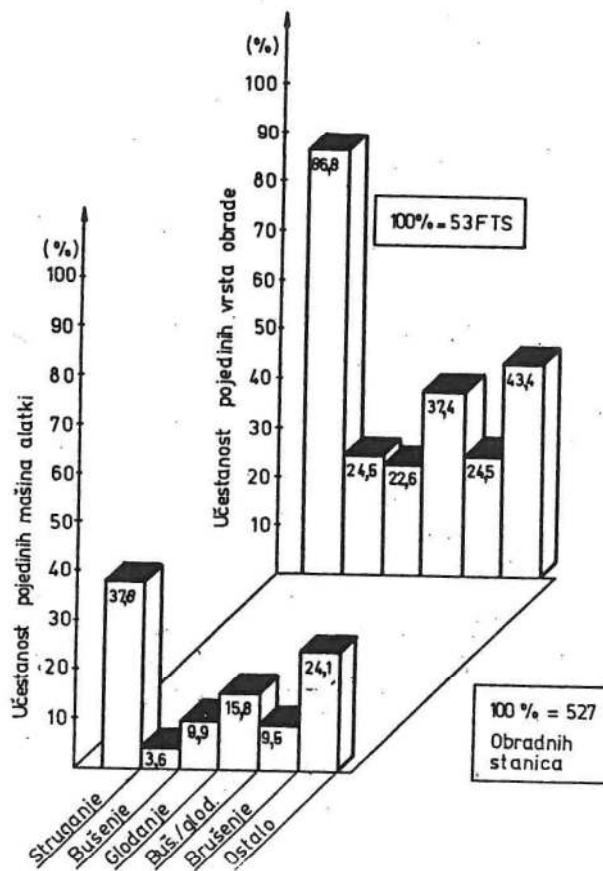
Sl. 6. Učestanost FTS prema max. dimenzijama obratka



Sl. 7. Učestanost FTS prema broju različitih obradaka



Sl. 8. Učestanost broja mašina alatki kod pojedinih FTS



Sl. 9. Učestanost vrsta mašina i vrste obrade kod pojedinih FTS

ma maksimalnim dimenzijama obratka (sl. 6) odnosno njihova učestanost prema broju različitih obradaka (sl. 7).

Podatak da oko 80% svih FT struktura imaju do 10 mašina (slika 8) a da su oko 40% od njih strugovi (slika 9) može da bude dobar putokaz u koncipiranju sastava FT struktura, naravno uz kombinaciju sa drugim parametrima, ali samo u kontekstu opšte koncepcije FTS, FTČ i FTM.

U vezi sa konkretnim sastavom NU FTS odnosno njegovom strukturom za tačno određeni proizvodni program, ili spektar delova, stoji činjenica da će se u većini slučajeva operacije obrade struganjem javljati kao dominirajuće u pogledu vremena trajanja i da će u narednom periodu biti poželjno razviti odgovarajući računarski program za analizu spektra delova za obradu i na bazi toga definisanje detaljne strukture (broja) pojedinih obradnih sistema.

4. Osnovni sastav - strukturu automatskog fleksibilnog tehnološkog sistema u širem smislu čine:

- obradni sistemi
- manipulacioni sistemi
- merno kontrolni sistemi
- transportni sistem
- skladišni sistem
- upravljački računarski sistem
- centralni računarski sistem

Pri tome treba naglasiti da isticanje transportnog sistema u ukupnoj strukturi NU FTS predstavlja ograničenje manipulacionog sistema na čistu manipulaciju u okviru jednog ili više obradnih i merno-kontrolnih sistema i manipulaciju u okviru skladišnog i medjuskладиšnog sistema.

Uvodjenje centralnog računarskog sistema u ukupnu strukturu NU FTS proizilazi iz potrebe da se ukupni NU FTS 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 FTS i svih njegovih elemenata, uključujući za bu-

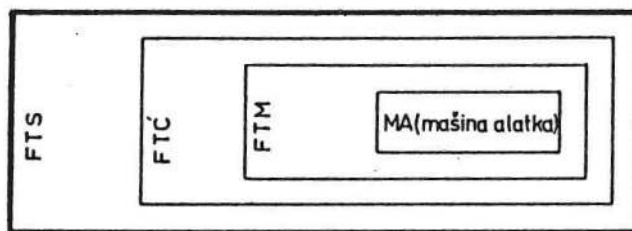
dućnost i mogućnost upravljanja kompletnom pripremom sistema za konkretnu proizvodnju.

3.0 KONCEPCIJA AUTOMATSKIH FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA

3.1. Polazne osnove

U postavljanju osnovne koncepcije automatskih fleksibilnih tehnoloških struktura polazi se od razmatranja izloženih u prethodnom delu ovog rada i polaznih principa za komponovanje koji se navode u nastavku.

Za definisanje pojma automatskih FTS, FTC i FTM poslužićemo se slikom 10.



Sl.10. Pojmovi FTS, FTC, FTM u odnosu na mašinu alatku

Bliže razgraničenje pojmova FTS, FTC i FTM izvršeno je prema [1], i detaljnije je izloženo u [9].

Bliže definisanje FTS, FTC i FTM koncipirano je prema sledećim principima:

Svaka mašina alatka (MA) bilo da je ona po svojoj koncepciji univerzalna ili se radi o obradnom centru, je numerički upravljanja (NU) mašina. U pogledu kompleksnosti ne postoji ograničenje broja osa sa kojima se upravlja. Čak šta više i upravljanje zakretanjem vretena kod mašina za obradu struganjem (upravljanje C - osom) je poželjno. Mašina može i ne mora biti snabdevena senzorskim sistemom za praćenje habanja alata i dijagnostikom otkaza. U suštini ovde je potrebno istaći da se manipulacija alatom u toku obrade nekog izradka vrši automatski.

Ako se mašini alatki doda merno kontrolni sistem i autonomni manipulacioni sistem za manipulaciju sa alatom i predmetom obrade - obratkom, dolazi se do fleksibilnog tehnološkog modula (FTM). Ovde se takodje podrazumeva da je upravljanje mani-

pulacionim sistemom na principu KNU ili PC upravljanja. Podrazumeva se da u okviru FTM postoje autonomni magacin izradaka i magacin alata a po potrebi i magacin pribora za stezanje izradaka, hvataljki za manipulacioni sistem i sl. Mašine mogu da budu snabdevene sa senzorskim sistemom za praćenje habanja alata. U principu kontrola tačnosti mera zbog habanja alata za završnu obradu vrši se automatski i to prvenstveno putem kontrole jedne referentne mere na obradku.

Ako se nekoliko mašina (2 - 5) poveže u jednu funkcionalnu celinu (koja čini zaokruženost tehnologije) sa odgovarajućim manipulacionim sistemima za alat i predmete obrade, transportnim sistemom i merno-kontrolnim sistemom dolazi se do *fleksibilne tehnološke ćelije (FTĆ)*. I ovde mašine ili grupa mašina treba da budu snabdevene sa senzorskim sistemom za praćenje habanja alata.

U principu može se generalno reći da se FTĆ može poistovetiti sa dva ili više FTM povezanih u funkcionalnu celinu.

Treba istaći da se ovde transport sa pripremcima i obradcima na relaciji (centralno) skladište - mašina alatka - - mašina alatka - (centralno) skladište vrši automatski pri čemu su delovi smešteni u tzv. satelitske magacine ili tehnološke palete.

Fleksibilni tehnološki sistem (FTS) za razliku od FTĆ podrazumeva zaokruženost tehnologije proizvoda. Radi se o više istih ili različitih FTĆ i FTM povezanih u funkcionalnu celinu sa automatskim transportno-skladišnim sistemom, kompjuterskim prepoznavanjem delova, NU mernom mašinom, senzorskim sistemom za alat, ON-LINE optimizacijom režima rezanja, dijagnostikom otkaza itd.

U radu [9] detaljno su objašnjene koncepcije osnovnih modula (FTM) i komponovanja FTĆ i FTS na bazi njih. Pri tome se pošlo od tri osnovne varijante kod svake fleksibilne strukture, pri čemu je maksimalno zastupljen modularni koncept projektovanja svake strukture višeg nivoa na osnovu strukture nižeg nivoa.

U cilju izbegavanja ponavljanja u odnosu na navedeni rad [9], ovde ćemo se zadržati uglavnom na novijim rezultatima u ra-

zvoju koncepcija FT struktura, kao i na odredjenim rezultatima koji upotpunjavaju prethodni rad.

3.2 Fleksibilni tehnološki moduli (FTM)

Inovirana koncepcija fleksibilnih tehnoloških modula obuhvata za svaki obradni sistem:

- za obradu struganjem
- za obradu krajeva
- za obradu brušenjem
- za obradu odsecanjem
- za obradu ozubljenja
- itd.,

po četiri osnovne varijante FTM namenjene kako za obradu izradaka u obliku vratila tako i izradaka u obliku diska.

Prva varijanta bazira na korišćenju portalnog manipulacionog sistema za manipulaciju sa predmetima i posebnog taktnog medjufaznog magacina za predmete obrade

Druga varijanta se razlikuje od prve varijante što umesto taktnog medjufaznog magacina za predmete obrade koristi paletni sistem sa izmenjivačem paleta.

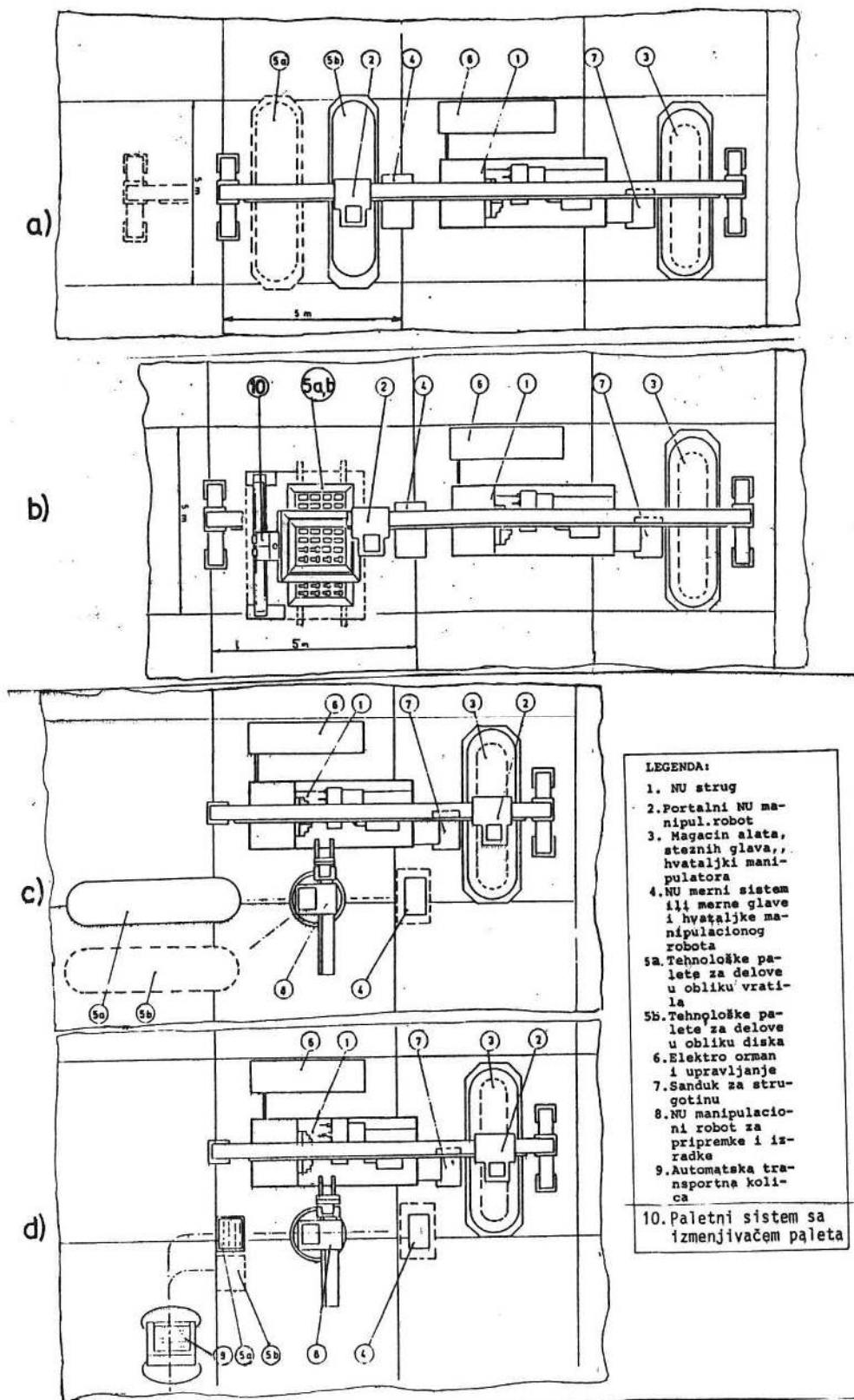
Treća varijanta bazira na korišćenju stojećeg manipulacionog sistema (industrijskog robota) za manipulaciju predmeta obrade i posebnog taktnog medjufaznog magacina za predmete obrade.

Četvrta varijanta se razlikuje od treće varijante po tome što se umesto taktnog medjufaznog magacina koriste tehnološke palete i transportna kolica.

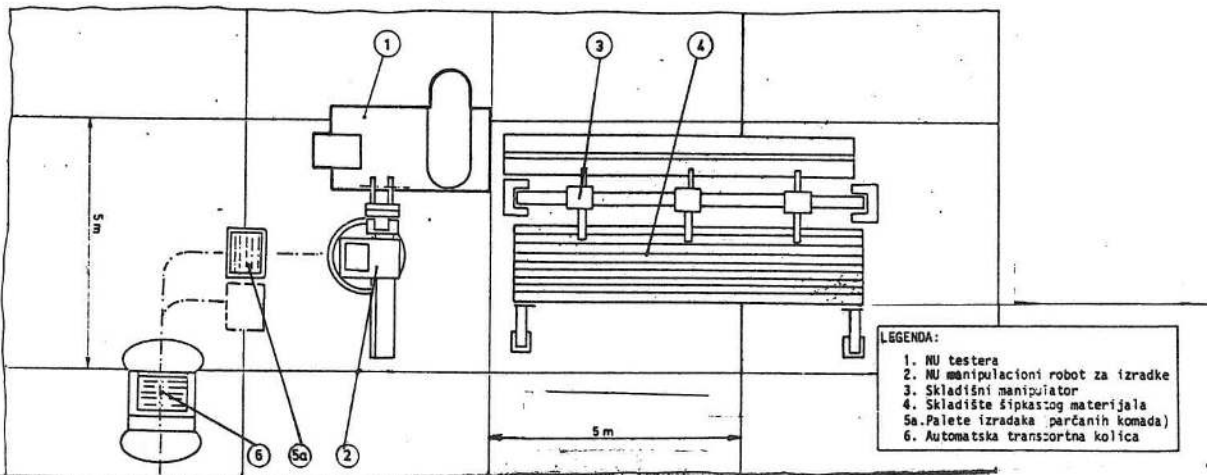
Četiri osnovne varijante FTM na primeru modula za obradu struganjem, prikazane su na slici 11.

Na FT modulima za druge vrste obrade ovde se posebno nećemo zadržavati. Samo se ukazuje na koncepcije FT modula za obradu brušenjem, za obradu krajeva i obradu odsecanjem u četvrtoj osnovnoj varijanti (slike 12, 13 i 14).

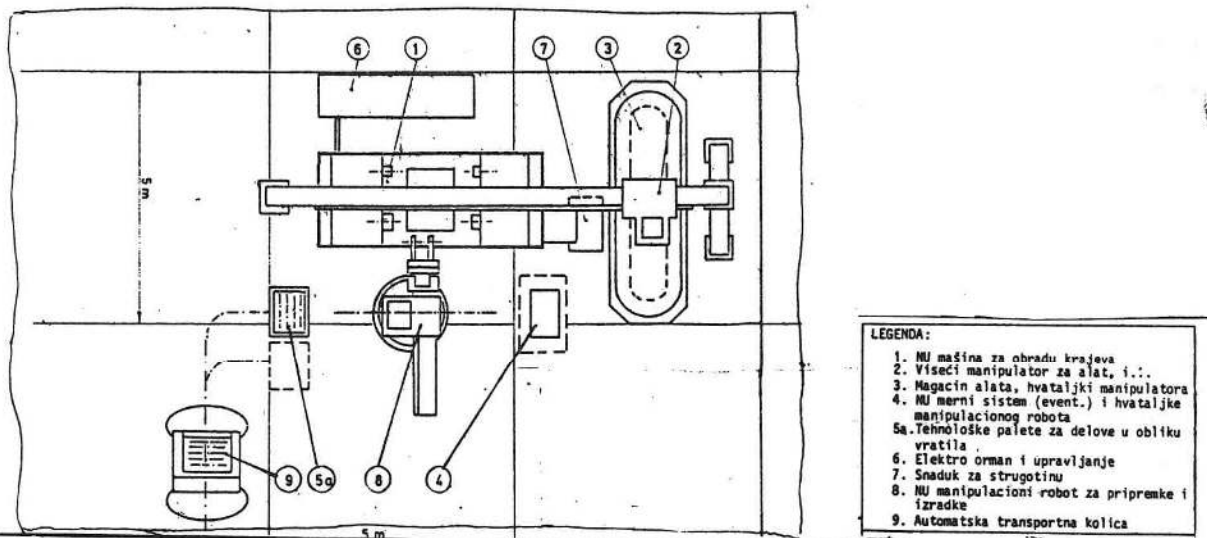
Prikazane osnovne varijante dozvoljavaju da se na osnovu njih po principu eliminacije pojedinih sastavnih delova dodje do izvedenih varijanti FT modula odredjene vrste. To se npr. odnosi na magacine pripremake i izradaka, NU merni sistem i sl.



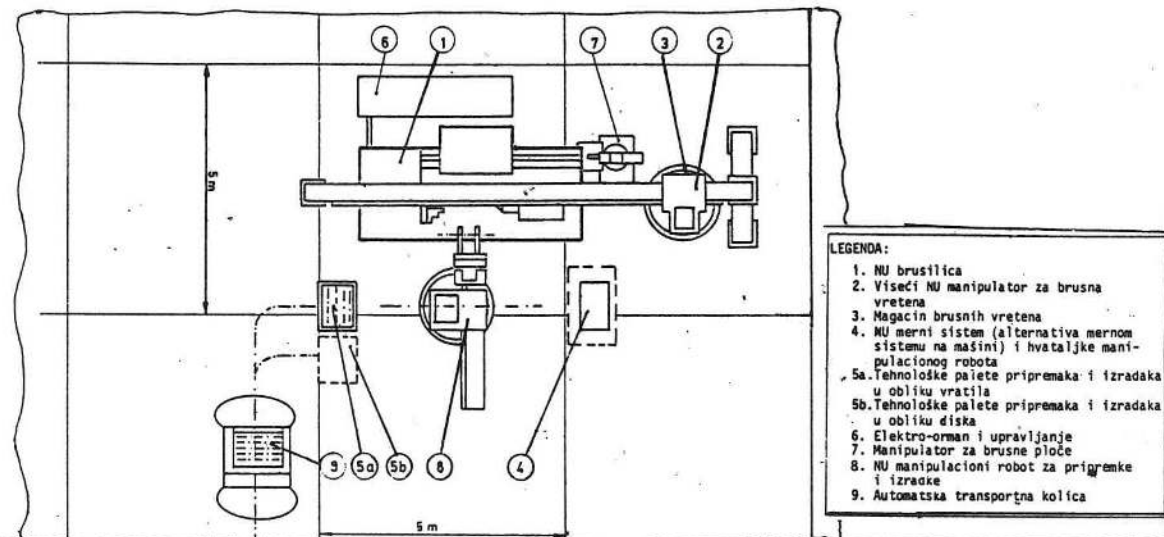
Sl. 11. Osnovne varijante FTM za obradu struganjem (a, b, c, d).



Sl. 12. FTM za obradu odsecanjem - 4. osnovna varijanta



Sl. 13. FTM za obradu krajeva - 4. osnovna varijanta



Sl. 14. FTM za obradu brušenjem - 4. osnovna varijanta

Raspored elemenata unutar FTM prvenstveno je koncipiran da omogući pretežno linijsko komponovanje fleksibilnih struktura višeg stepena složenosti.

3.3 Fleksibilne tehnološke strukture višeg nivoa složenosti

Fleksibilne tehnološke ćelije (FTĆ) i fleksibilni tehnološki sistemi (FTS) komponuju se na bazi osnovnih i izvedenih varijanti fleksibilnih tehnoloških modula (FTM).

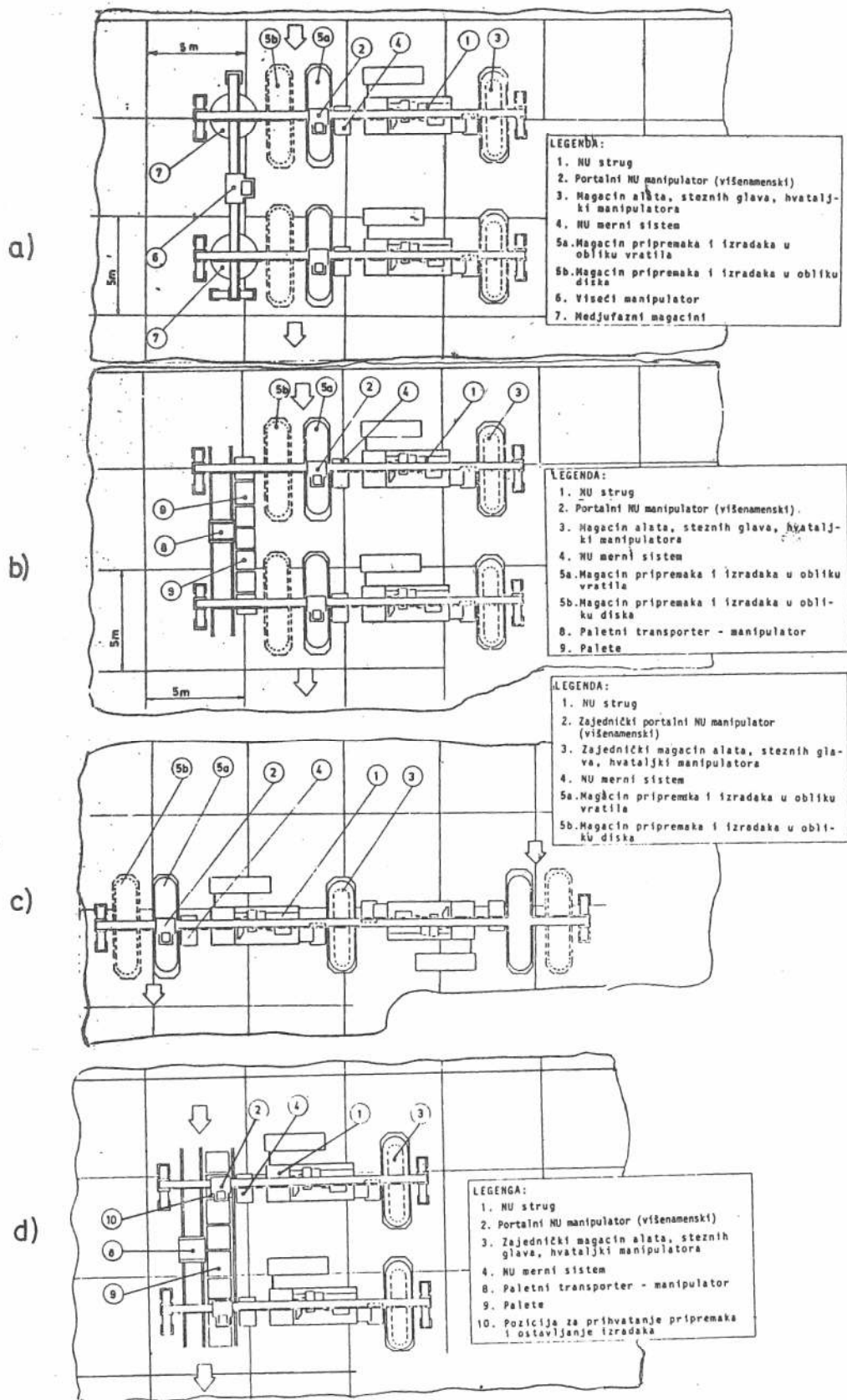
Ovde ćemo se ukratko zadržati na FTĆ komponovanim iz dva FTM (dve mašine). Na slici 15 prikazane su četiri karakteristična konceptiona rešenja FTĆ. U sva četiri slučaja radi se o FTĆ za obradu struganjem. Prva tri rešenja komponovana su na osnovu prve osnovne varijante FTM dok je četvrto rešenje izvedeno na osnovu druge osnovne varijante. Već na osnovu prikazanih varijantnih rešenja FTĆ moguće je uočiti univerzalnost prilaza u postavljanju koncepcije FTM.

Na isti način pomenuta koncepcija FTM pruža izvanredne mogućnosti u komponovanju FTS. Rešenja koja se ovde prikazuju u nastavku, samo su neka od mogućih varijanti. Izabrana su neka od rešenja koja se odnose na fiksni sastav u pogledu broja i vrste FTM u FTS. Sva prikazana rešenja namenjena su za obradu rotacionih izradaka u obliku vratila. U prva dva slučaja (sl. 16 a i b) radi se o linijskom rasporedu FTM unutar FTS dok se u druga dva slučaja (sl. 16 c i d) radi o kompaktnom-grupnom rasporedu.

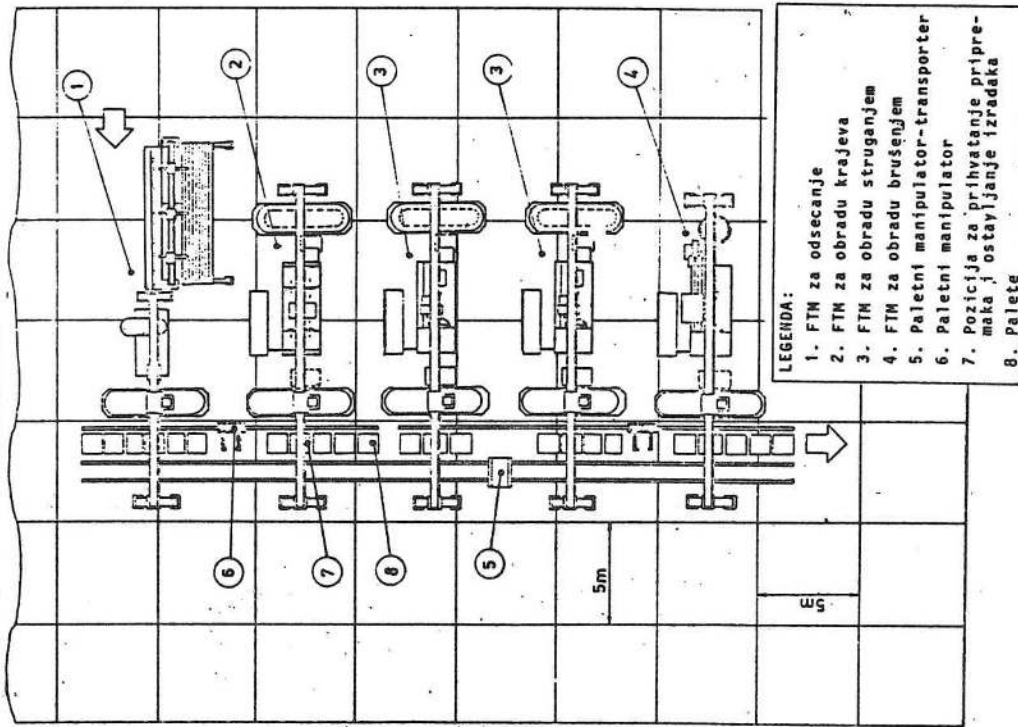
Rešenje prikazano na sl. 16a bazira na povezivanju FTM pomoću portalnog manipulatora i medjufaznih magacina, dok rešenje na slici 16 b za povezivanje koristi paletni manipulator-transporter.

Rešenje prikazano na slici 16 c koristi FTĆ za pripremne operacije (otsecanje i obrada krajeva), FTĆ za obradu struganjem i FTM za obradu brušenjem. Pri tome je povezivanje izvedeno pomoću paletnog manipulatora-transportera.

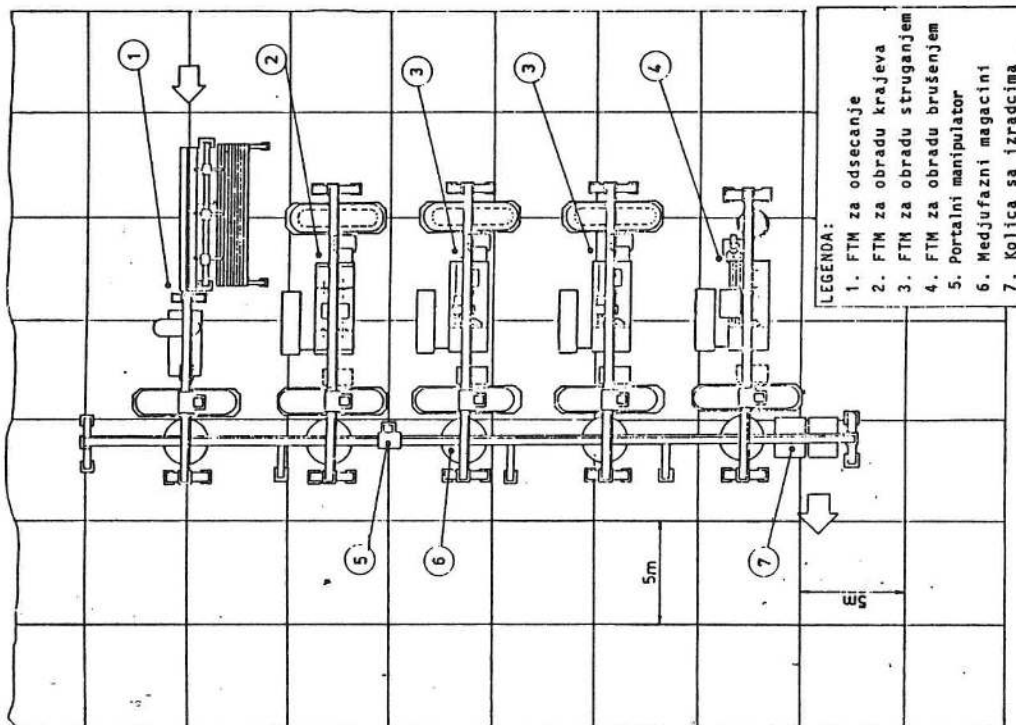
Rešenje prikazano na slici 16d koristi četvrte osnovne varijante FT modula, koja ujedno diktiraju povezivanje pomoću automat-



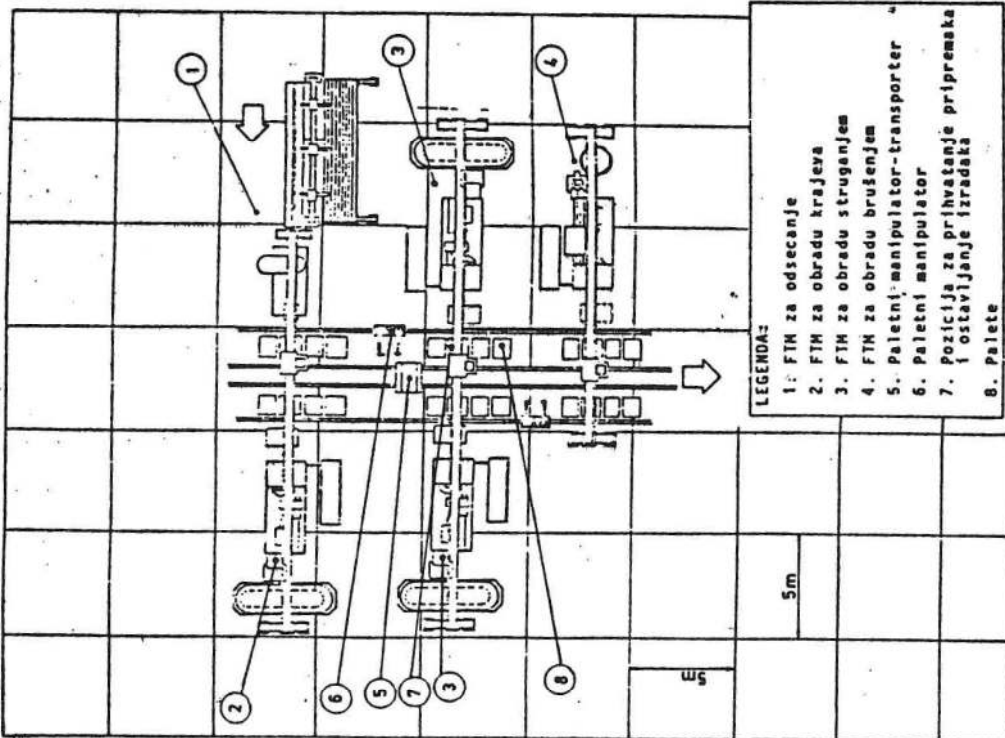
Sl. 15. Neke od moćnih varijanti FTC za obradu struganjem



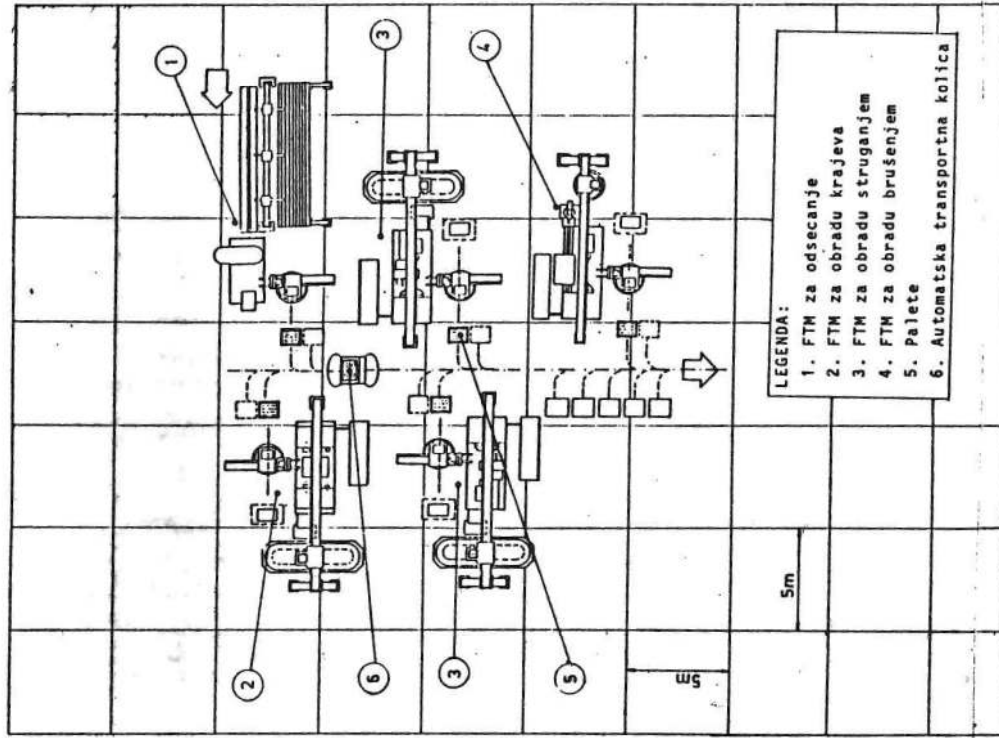
Sl. 16b. FTS za obradu rotacionih izradaka u obliku vratila - varijanta sa povezivanjem pomoću paletnog manipulatora - transportera



Sl. 16a. FTS za obradu rotacionih izradaka u obliku vratila - varijanta sa povezivanjem pomoću portalnog manipulatora i medjufaznih magacina



Sl. 16c FTS za obradu rotacionih izradaka u obliku vratila - varijanta bez međufasnih magacina - sa kompaktnim rasporedom FTM u sastavu FTS



Sl. 16d. FTS za obradu rotacionih izradaka u obliku vratila - varijanta povezivanja pomoću automatskih transportnih kolica - sa kompaktnim rasporedom FTM u sastavu FTS

skih transportnih kolica.

Sledeći započetu koncepciju komponovanja kako FTC tako i FTS moguće je, doći do izuzetno velikog broja realnih varijanti FTC i FTS.

U prikazu varijantnih rešenja suština je bila da se prikaže koncepcija osnovnog mašinskog hardvera, ne ulazeći u pojedinosti vezane za pripremu alata, osnovni skladišni sistem i kompjuterski sistem.

Takodje je izbegnuto da se naglase varijantna rešenja u kojima je u tehnološkom toku prisutna termička obrada, mada nije teško uočiti da pojedina rešenja zbog fleksibilnosti manipulaciono-transportnog sistema omogućavaju transport obradka do sistema za termičku obradu i njihov povratak na željeno mesto u FTS.

Za razliku od koncepcije FT modula i FT ćelija kod FTS je namena FTS jasno razgraničena:

- za obradu - izradu delova u obliku VRATILA, i
- za obradu - izradu delova u obliku DISKA

Takvo razgraničenje u složenim sistemima kakvi su FTS čini se ispravnim s obzirom na cenu ovakvih sistema.

4.0 ZAVRŠNI OSVRT

Zbog ograničenog prostora rezultati istraživanja u vezi sa razvojem koncepcije FT struktura, izloženi su u ovom radu dosta sažeto i parcijalno.

Na osnovu svega izloženog kao i na osnovu širih rezultata [7][9][10] moguće je zaključiti sledeće:

1. Istraživanje problematike u vezi sa postavljanjem koncepcije FT struktura za obradu rotacionih izradaka, treba smatrati kao dugoročni zadatak, podložen stalnim uticajima. Ti uticaji posebno dolaze zbog stalno prisutnog usavršavanja i razvoja pojedinih komponenata FT struktura (obradnih sistema, industrijskih robota i manipulacionih sistema, merno-kontrolnih sistema kao i transportno-skladišnih sistema).

2. I u ovoj fazi pri postavljanju koncepcije FTS nedovoljno je uvažavan kapacitivni faktor odnosno adekvatne podloge za

definisane broja mašina po vrstama unutar pojedinih karakterističnih varijanti sistema.

Kroz produbljena istraživanja u narednom periodu neophodno je usvojiti neke od postojećih i razviti nove kriterijume za vrednovanje pojedinih varijanti FT sistema a isto tako i FT modula i FT ćelija i na osnovu tih kriterijuma izvršiti vrednovanje svih mogućih realnih varijanti.

5.0 LITERATURA

- [1] V.Milačić, V. Majstorović, N. Čović, B.Babić: Računarom integrirani tehnološki sistemi - stanje i dalji razvoj, Zbornik radova 8. savetovanja NUMA-ROBOTI i XV simpozijuma Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd, 1985.
- [2] G.Wettin: Analyse der Konzeptionen Flexibler Fertigungssysteme, VDI-Z, 121 (1979) No 1/2
- [3] K. Mertins: Entwicklungsstand Flexible Fertigungssysteme in der USA, ZWF, 76 (1981) No 2.
- [4] J.Reckecki, R. Gatalo, Lj. Borojev, J.Hodolič, M. Zeljković, I.Kasaš: 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.
- [5] V.Milačić, M. Glavonjić, V.Majstorović: Analiza razvijenih fleksibilnih sistema u svetu, Zbornik radova VIII JUPITER konferencije, Zvečevo, 1982.
- [6] J.Reckecki, R.Gatalo, J.Hodolič, Lj. Borojev, M.Zeljković: Prilog razvoju koncepcije NU fleksibilnih proizvodnih sistema za obradu rotacionih delova, 6. savetovanje NUMA-ROBOTI, Beograd, 1982.
- [7] J.Reckecki, R.Gatalo, Lj. Borojev, J.Hodolič, M.Zeljković, Z. Konjović, Z. Rajšli, S.Kovačević, S.Vasić, I.Šeškar: Istraživanje podloga za razvoj NU fleksibilnih tehnoloških sistema (FTS) za obradu rotacionih izradaka - prva faza; elaborat naučno-istraživačkog podprojekta, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1986.
- [8] K. Mertins: Entwicklungsstand flexibler Fertigungssysteme - Linien -, Netz und Zellenstrukturen, ZWF 80(1985) No 6.
- [9] R.Gatalo, J.Reckecki, M.Zeljković, J.Hodolič, Lj.Borojev: Koncepcije NU fleksibilnih tehnoloških struktura za obradu rotacionih izradaka, CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, Cavtat, 1988.

- | 10 | J.Rekecki, R.Gatalo, Lj.Borojev, J.Hodolić, M.Zeljković:
Fleksibilni automatski proizvodni sistemi u oblasti alat-
nih mašina, istraživački projekat (radni materijal), Insti-
tut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad
- | 11 | K.Mertins: Steuerung rechnergeführter Fertigungssysteme,
Dissertation, Technische Universität, Berlin, 1984.