

<https://doi.org/10.24867/JPE-1994-11-001>

PREGLEDNI RAD

Banjac D., Todić V., Rodić M., Gojković D.\*

PRIPREMA TEHNOLOŠKIH PODLOGA ZA IZBOR  
FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA ZA IZRADU  
ROTACIONIH DELOVA

PREPARATION OF BASICS FOR SELECTION OF  
FLEXIBLE MANUFACTURING STRUCTURES FOR  
ROTATIONAL PARTS

**Summary**

*Design and utilization of expensive and complex flexible manufacturing systems requires detailed analysis in order to select optimum solution with respect to accuracy, reliability, flexibility, productivity and cost-effectiveness of machining and manufacture.*

*The paper presents a part of investigation results which pertain to definition of necessary technological basics for selection of optimum variants of flexible manufacturing structures for rotational parts. The paper gives a brief review of practical application.*

\*) Banjac mr Dragan, predavač, Todić dr Velimir, vanr. prof., Rodić dr Milorad, docent, Gojković Donka, asistent pripravnika, IPM, FTN, Novi Sad, V. Perića Valtera 2

**Rezime**

*Projektovanje i eksploatacija skupih i složenih fleksibilnih proizvodnih sistema zahtevaju detaljne analize u cilju izbora optimalnih rešenja sa stanovišta tačnosti, pouzdanosti, fleksibilnosti, proizvodnosti i ekonomičnosti obrade i proizvodnje.*

*Na bazi analize savremenih svetskih i sopstvenih istraživanja u oblasti projektovanja i eksploatacije fleksibilnih tehnoloških struktura, konvencionalnih i automatizovanih, u radu se iznosi deo rezultata, koji se odnosi na definisanje neophodnih tehnoloških podloga za izbor optimalnih varijanti savremenih fleksibilnih tehnoloških struktura za obradu rotacionih delova, sa kratkim prikazom konkretne primene.*

**1. UVOD**

Za više domaćih preduzeća za proizvodnju mašina alatki vršena su istraživanja koncepcije i razvoja racionalnih varijanti i nivoa fleksibilnih tehnoloških struktura (FTs) [3,6, 7,14], kao i projektovanja, optimizacije i uvođenja koncepta grupne tehnologije [1,2,3,4,6,11, 12,13], pri izradi rotacionih delova, pri čemu su u Institutu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu ostvareni povoljni rezultati, delimično publikovani i realizovani u proizvodnji.

Opšte poznate promene u zahtevima međunarodnog i domaćeg tržišta u pogledu kvaliteta, cena i uslova plasmana proizvoda, s jedne strane, i bitno izmenjeni i otežani uslovi proizvodnje u domaćim preduzećima industrije prerade metala, s druge strane, u jednom domaćem preduzeću za proizvodnju električnih mašina uslovi su potrebu za prilagodavanjem i usavršavanjem proizvodnje u saglasnosti sa takvim promenama. Naime, došlo je do značajnog proširenja asortimana proizvoda, povećanja broja i smanjenja veličina serija, zahteva za skraćivanjem rokova isporuke i podizanja pouzdanosti kvaliteta proizvoda i proizvodnih procesa, uz otežano uklapanje u cene proizvoda koje prihvata tržište. Očigledno je da je u takvim uslovima rešenje trebalo tražiti u uvođenju savremene pouzdane fleksibilne i mobilne proizvodnje, zasnovane na izgradnji efikasne pripreme proizvodnje i primeni fleksibilnih i pouzdanih tehnoloških i proizvodnih sistema. Zbog toga je preduzeće u saradnji sa Institutom organizovalo realizaciju istraživačko-razvojnog projekta za pripremanje i etapno uvođenje fleksibilnih tehnoloških i proizvodnih sistema u proizvodnji elektromora.

Na osnovu rezultata navedenih ranijih istraživanja u IPM i rada na navedenom projektu u daljem tekstu se izlaže opšti koncept sistema projektovanja tehnoloških procesa i pripremanja neophodnih drugih podloga za izbor i primenu racionalnih varijanti FTs.

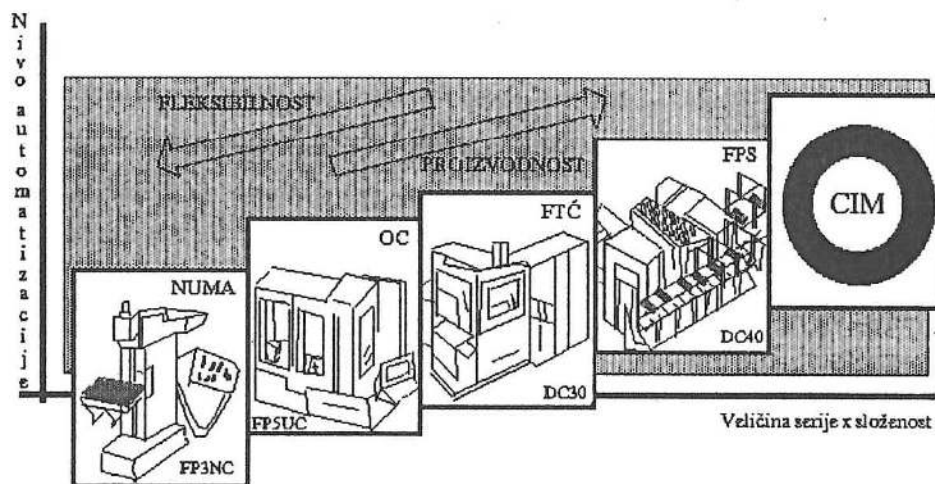
**2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE I USLOVI PRIMENE FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA**

Složeni zahtevi savremenog tržišta, kao što je naglašeno, ističu neophodnost istraživanja koncepcija, primene i racionalne eksploatacije fleksibilnih automatizovanih tehnoloških struktura u domaćim proizvodnim sistemima industrije prerade metala. Opšte poznate prednosti i efekti koje nude i omogućavaju savremene FTs (idući od NUMA pa sve do CIM sistema) [5,6,8,10,14], a koji se svode uglavnom na podizanje nivoa tačnosti i pouzdanosti, fleksibilnosti, mobilnosti, proizvodnosti i ekonomičnosti proizvodnje, mogu se ostvariti samo u određenim povoljnim uslovima pripremanja i realizacije proizvodnje. To znači da se ostvarivanje mogućih efekata može obezbediti, za razliku od slučaja primene konvencionalne opreme, samo uz efikasno rešavanje niza specifičnih problema, vezanih prvenstveno za visok nivo automatizovanosti procesa i sistema, visoke cene i troškove investiranja i neophodnosti kvalitetnih i efikasnih sistema pripreme i sistema upravljanja proizvodnjom [5,6,8,10,14]. Kod

pojedinih nivoa složenosti i integracije FTs kao karakteristični problemi javljaju se, između ostalih, i: projektovanje i primena optimalnih obradnih i tehnoloških procesa, povišenje vremenskog koeficijenta iskorišćenja opreme, povišenje pouzdanosti sistema, neophodnost kontrole stanja elemenata sistema, obezbeđenje potrebnog nivoa fleksibilnosti i mobilnosti, primena racionalnog sistema alata i jednostavnih pribora, izbor familija delova za racionalnu izradu za svaki nivo FTs, smanjivanje vremena pripreme (osnovne i medupripreme), skraćivanje tehnoloških ciklusa proizvodnje i smanjivanje tehnoloških zaliha, obezbeđenje racionalnog automatizovanog sistema upravljanja za rad u automatskom režimu, izbor racionalnih rešenja rukovanja obradcima (manipulacijom i transportom), kontrole i skladištenja, utvrđivanje nivoa integracije i organizacione strukture FTs i mogućnosti uklapanja rešenja u dalji razvoj do CIM koncepta.

Ostvarivanjem takvog sistema pripremanja proizvodnje, izborom i eksploatacijom racionalnih varijanti FTs i primenom savremenih koncepcija informacionih sistema i sistema upravljanja proizvodnjom, dakle rešavanjem unapred navedenih specifičnih i složenih problema vezanih za primenu fleksibilne automatizacije, može se ostvariti zadovoljavajući nivo proizvodnosti i ekonomičnosti proizvodnje, odnosno iskorišćenje napred navedenih prednosti FTs.

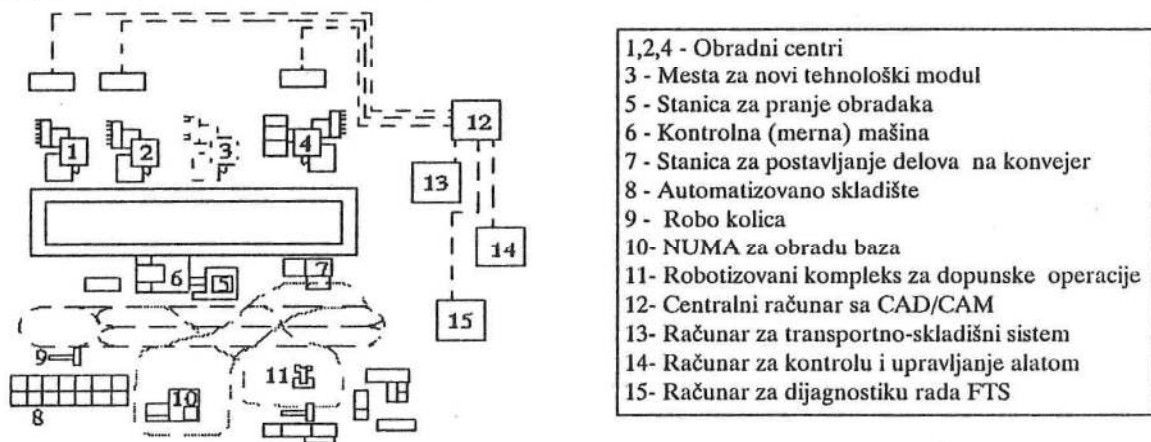
Pored ostalog, izbor varijante fleksibilne tehnološke strukture za obradu zadatog asortimana delova predstavlja jedan od značajnih problema, čijim se rešavanjem stvaraju podloge za ostvarenje potrebnih tehnoeekonomskih efekata. Pojedine varijante FTs, različitih nivoa cena, složenosti, nivoa fleksibilnosti, automatizovanosti i integrisanosti (slika 1.), daju očekivane više efekte samo u određenim uslovima, kada su u pitanju složenost i asortiman delova, veličine serija, rokovi isporuke i slično.



Slika 1. Nivo automatizacije FTs i primena [6]  
Fig. 1. Level of FMs automation and utilization [6]

S obzirom na navedene efekte koje nudi fleksibilna automatizacija, s jedne strane, i dopunska ograničenja u domaćim proizvodnim uslovima, kao što su npr. nivo sistema pripreme proizvodnje i ograničene investicione mogućnosti, s druge strane, očigledno je da se pri koncipiranju i izboru varijanti FTs za uvođenje u proizvodnju mora voditi računa da usvojena rešenja obezbeđuju dalje podizanje nivoa fleksibilne automatizacije, odnosno da u osnovi predstavljaju samo određenu fazu razvoja CIM koncepta (slika 2.), [5,6,7].

Uvažavajući iznete činjenice može se zaključiti da se izbor i projektovanje FTs, koji će zadovoljiti postavljene ciljeve, mora zasnivati na detaljno razrađenom kompleksnom sistemu pripreme tehničkih, tehnoloških i ekonomskih podloga i primeni odgovarajućih merodavnih kriterijuma optimizacije rešenja. Da bi se to u izvesnoj meri pokazalo, može se poći od jednog mogućeg opšteg algoritma projektovanja i uvođenja rešenja automatizovanih fleksibilnih tehnoloških struktura [5,6,7] (slika 3.).



Slika 2. Struktura CIM

Fig. 2. CIM structure

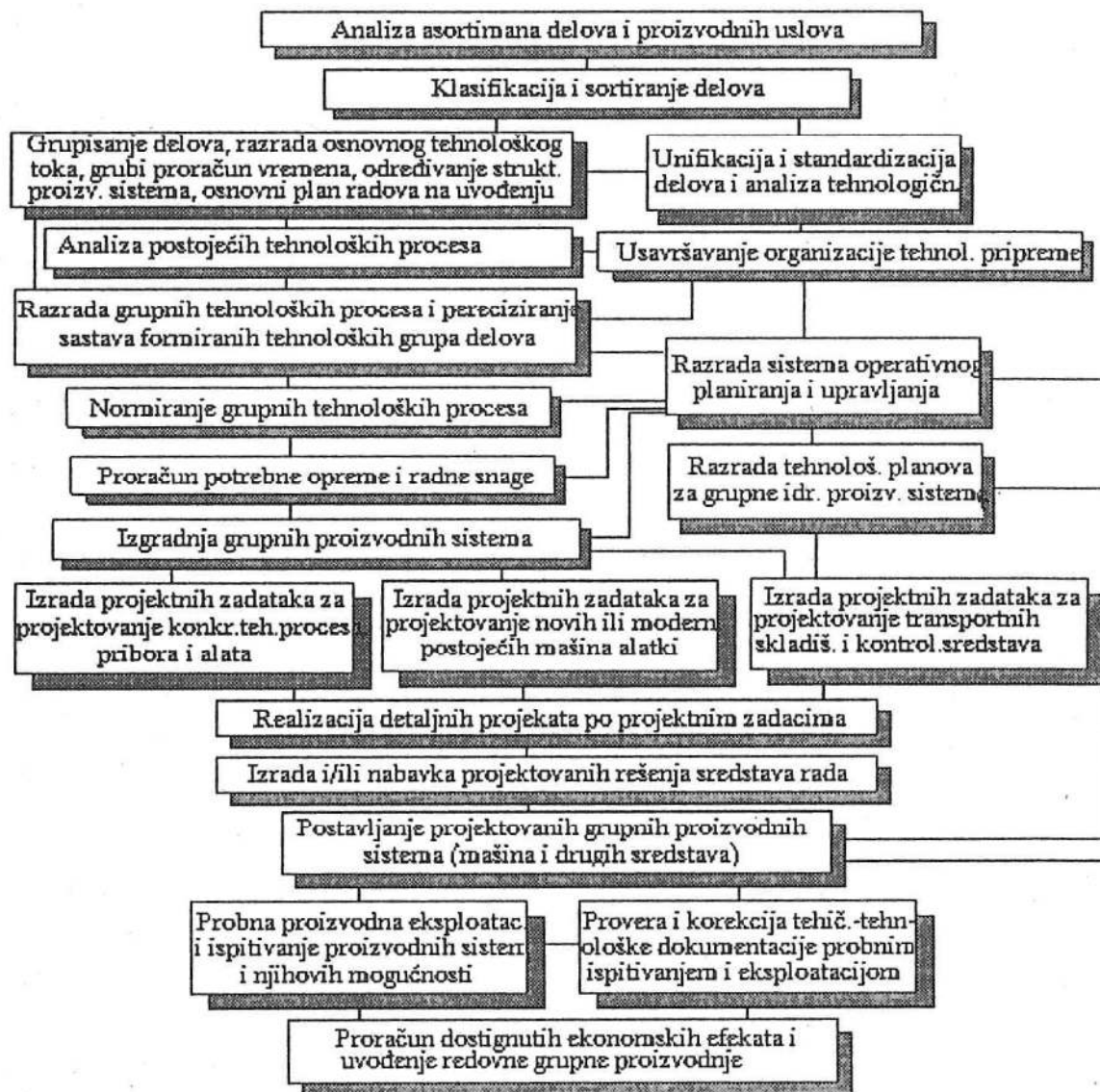
Red br.	ETAPE	PROBLEMI KOJI SE REŠAVAJU	PODLOGE
1	Analiza polaznih podataka za projektovanje tehnoloških procesa za FTs	- Upoznavanje sa tehničkom dokumentacijom za delove - Analiza postojećih tehnoloških procesa izrade zadatih delova i utvrđivanje mogućnosti automatizacije procesa sa FTs - Sastavljanje pregleda nedostajućih podataka za projektovanje tehnoloških procesa za FTs	- program proizvodnje - konstruktivna dokumentacija - tehnološka dokumentacija - informacijski sistem
2	Grupisanje delova	- Sastavljanje tehnoloških grupa delova na osnovu konstruktivne i tehnološke sličnosti - Izbor reprezentnog-kompleksnog dela - Osnovni koncept tehnološkog procesa - Razrada podloga i predloga za unifikaciju, standardizaciju i povišenje tehnološkičnosti delova	- konstruktivna dokumentacija - klasifikatori - sistem projektovanja tehnoloških procesa - preporuke i kriterijumi za grupisanje
3	Količinska ocena grupa delova	- Utvrđivanje tipa proizvodnje - Sistematizacija proizvodnog programa - Procena vremena i troškova za tehnološke procese na FTs	- plan proizvodnje - pravila projektovanja FPS
4	Razrada transportno-tehnoloških šema procesa na FPS	- Izbor i definisanje priprema - Prethodni izbori tehnoloških baza, metoda obrade, manipulacije, transporta, kontrole i odgovarajuće opreme - Postavljanje racionalnih transportnotehnoloških šema - Prethodno postavljanje i analiza varijanti šema komponovanja FPS	- preporuke za izbor priprema - klasifikatori tehnoloških operacija i opreme - konstruktivna dokumentacija
5	Izbor i definisanje toka tehnološkog procesa	- Određivanje redosleda operacija (ili preciziranje grupnih i tipskih tehnoloških procesa) - Određivanje tehnološke opreme	- sistemi projektovanja tehnoloških procesa
6	Razrada tehnoloških operacija za FTs	- Razrada varijanti operacija - Analiza i proračun tačnosti i proizvodnosti obrade - Definisanje potrebne pouzdanosti i fleksibilnosti	- sistemi projektovanja tehnoloških procesa
7	Obrazloženje tehnološke ekonomskosti	- Proračun ekonomskih efekata i konačan izbor varijanti tehnoloških procesa i FTs	- postupak izbora optimalne varijante tehnološkog rešenja
8	Razrada tehničkih mera za realizaciju tehnoloških procesa na FTs	- Oblikovanje tehnološkog dela projekta FPS - Razrada i realizacija tehničkih projektnih zadataka za projektovanje tehnološke i druge opreme FPS - Razrada montažnog plana FPS - Razrada plana ispitivanja FTs	- standardi i preporuke - sistem projektovanja FTs - normativi
9	Formiranje tehnološke dokumentacije, za FTs i njena kontrola	- Formiranje tehnološke dokumentacije za procese na FTs - Kontrola i usaglašavanje tehnološke i tehničke dokumentacije za FPS	- standardi

Slika 3. Etape projektovanja i uvođenja FTs

Fig. 3. Stages in design and implementation of FMs

Polazeći od mogućih varijanti projektnih zadataka za izbor i razradu FTs [6], očigledno je etapa, koje u sebi u osnovi sadrže definisanje neophodnih tehničko-tehnoloških podloga, odnosno potrebnog obima podloga za praktičnu realizaciju FTs, bilo projektovanjem i razradom rešenja, bilo izborom gotovih rešenja sa tržišta ili iz sopstvenog proizvodnog sistema. Iz algoritma se vidi i neophodnost izbora pogodnih grupa delova, odgovarajućih pojedinim varijantama fleksibilnih tehnoloških struktura. To znači da na bazi formiranih grupa delova odgovarajuće složenosti, sličnosti i serijnosti treba tražiti rešenja FTs koja će dati najveće efekte u pogledu proizvodnosti i ekonomičnosti, uz ostvarenje potrebnog nivoa tačnosti, pouzdanosti i fleksibilnosti.

Uzimajući u obzir ostvarene rezultate u razvoju i primeni koncepta grupne tehnologije, kako u svetu, tako i u IPM [2,3,4,5,10,11,12], može se lako dokazati da sistem projektovanja i uvođenja grupne tehnologije i grupnih tehnoloških sistema obezbeđuje i efikasno definisanje tehnoloških podloga za izbor i razradu racionalnih varijati FTs, takode u osnovi grupnih tehnoloških sistema. To se lako može sagledati analizom efekata primene grupnog koncepta i sistema projektovanja i uvođenja grupne proizvodnje. Za ilustraciju navedenih postavki može se navesti osnovni koncept uvođenja grupnih tehnoloških procesa i sistema (slika 4) [6].



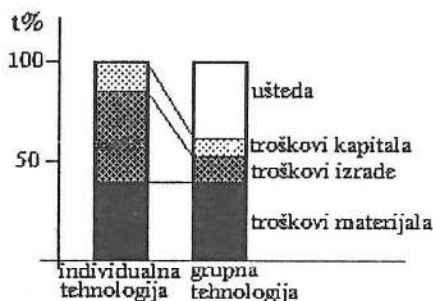
Slika 4. Osnovne etape pripreme i uvođenja grupne proizvodnje  
 Fig. 4. Basic stages of preparation and implementation of group technology

Može se konstatovati da se u osnovi etape i postupci definisanja tehnoloških i ekonomskih podloga za grupnu proizvodnju poklapaju sa odgovarajućim etapama projektovanja FTs (slika 3.).

Zbog toga će se dalje izložiti sistem pripremanja tehnoloških procesa i podloga za izbor i optimizaciju FTs, koji je rezultat istraživanja i delimične praktične primene u IPM u Novom Sadu.

### 3. DEFINISANJE TEHNOLOŠKIH PODLOGA ZA FTs PRIMENOM KONCEPTA GRUPNE TEHNOLOGIJE

Grupisanjem delova po konstruktivno-tehnološkoj sličnosti praktično se podiže serijnost proizvodnje i obezbeđuju podloga za primenu viših nivoa mehanizacije i automatizacije tehnoloških procesa i sistema, sa nizom povoljnih efekata u pogledu proizvodnosti i ekonomičnosti proizvodnje, kao i u unapređenju pripreme proizvodnje [2,3,10,12]. Ti efekti se prvenstveno ostvaruju u nižim tipovima proizvodnje, kakav je danas najčešći slučaj u domaćim proizvodnim sistemima, i mogu se grubo ilustrovati putem upoređenja troškova proizvodnje (t) sa individualnom tehnologijom (slika 5.).

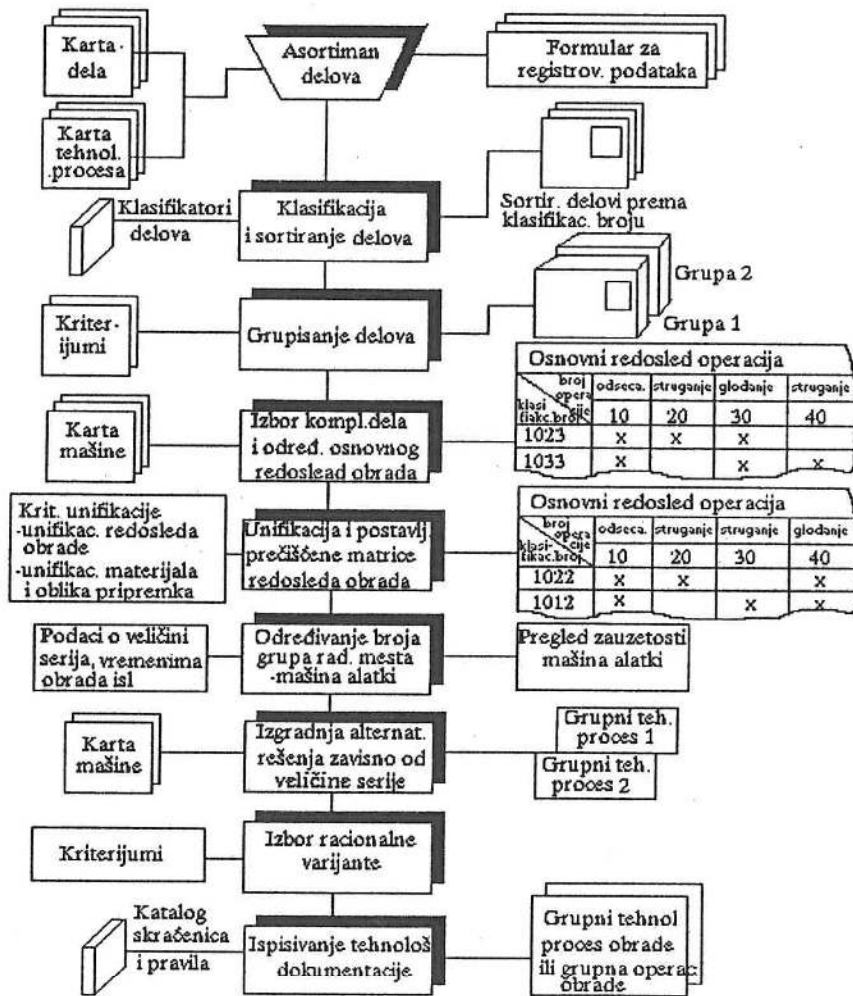


Slika 5. Poređenje troškova izrade individualnom i grupnom tehnologijom  
Fig. 5. Comparison between expenses of individual - and group-technology manufacture

Dakle, osnovu za primenu grupne tehnologije predstavlja formiranje familija-grupa tehnološki sličnih delova iz zadatog asortimana delova u proizvodnom sistemu.

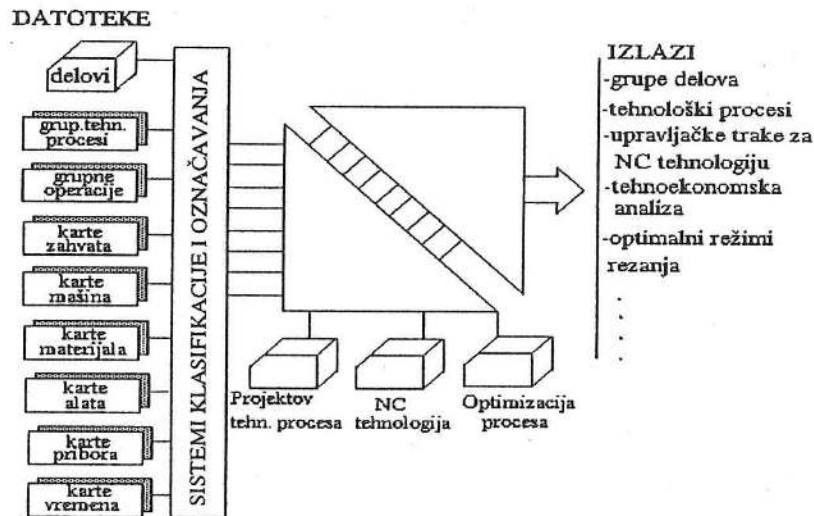
Naročito u slučaju rotacionih delova, posebno efikasno se za grupisanje delova koriste konstruktivno-tehnološki klasifikatori sa pouzdanim rezultatima ostvarenim prvenstveno primenom računara [2,3,6,10,12]. Treba naglasiti da u svetu i zemlji ranije razvijeni opšti klasifikatori [2,3] omogućavaju samo grubo i nedovoljno pouzdano grupisanje, ali su za svaki proizvodni sistem osnova za dogradnju ili izradu sopstvenih pouzdanijih klasifikatora. Tako je za slučaj rotacionih delova mašina alatki u IPM razvijen klasifikator sa 22 kodna mesta, sa kojima se precizno opisuju sve konstruktivne i tehnološke karakteristike delova, koji je kroz praktičnu primenu i verifikaciju dokazao pouzdano i precizno grupisanje delova, kako za formiranje grupa za projektovanje i primenu grupnih tehnoloških procesa, tako i za formiranje grupa za grupne operacije na pojedinim varijantama mašina alatki, pa i FTs. Tim putem se omogućava za FTs formiranje grupa delova, obično više složenosti i drugih karakteristika, odgovarajućih ekonomičnoj obradi [6].

Da bi se za formirane tehnološke grupe delova mogle predvideti opravdane varijante mašina alatki i tehnoloških sistema, kao osnova za dalju njihovu analizu i izbor, neophodno je projektovati grupne tehnološke procese ili operacije obrade. Za razliku od algoritama i sistema projektovanja individualnih tehnoloških procesa obrade, ovde je neophodan poseban, što više automatizovan, sistem projektovanja grupnih procesa, odgovarajuća banka tehnoloških podataka i sistem detaljne razrade tehnoloških procesa (operacija) za svaki konkretan deo iz grupe. U istraživanjima koja su navedena [2,3,4,11,12,13,14] razvijen je sistem projektovanja



Slika 6. Opšta šema projektovanja grupnih tehnoloških procesa i operacija obrade  
 Fig. 6. Flow chart of group-technology process planning

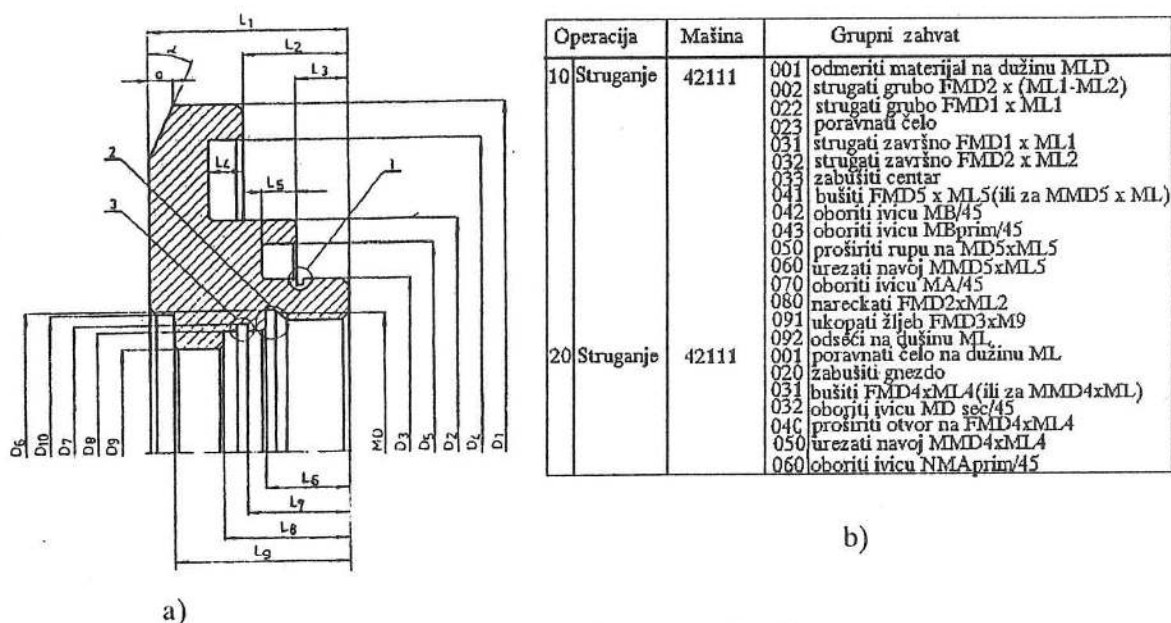
grupnih tehnoloških procesa na bazi kompleksnog dela-reprezenta grupe i mogućih postojećih individualnih tehnoloških procesa obrade (slika 6.). Izlaz iz sistema su grupe, grupni tehnološki procesi i operacije, tipovi mašina alatki, i na kraju zahvati koje treba realizovati pri obradi svih delova grupe.



Slika 7. Osnovni elementi banke tehnoloških podataka  
 Fig. 7. Basic elements of technological data bank

U cilju izbora optimalnih procesa i rešenja [1,6,13], prvenstveno utvrđivanja optimalnih rešenja zahvata, alata, režima rezanja i vremena obrade, razvijena je takode sistematizacija karakterističnih zahvata obrade i njima odgovarajućih modela optimizacije. Na osnovu toga moguće je strukturu tehnološke banke podataka za projektovanje i optimizaciju individualnih tehnoloških procesa obrade [1,13] dograditi i neophodnim datotekama za primenu gore navedenih sistema projektovanja i optimizacije procesa obrade, kao što su datoteke klasiranih delova i njihovih grupa, datoteke grupnih tehnoloških procesa i operacija, datoteke karakterističnih zahvata obrade, datoteke grupnih vremena obrade i slično (slika 7.).

Kao ilustracija ovih dopunskih sadržaja tehnološke banke podataka navode se primeri memorisanih grupnih operacija obrade [2,3,6] (za kompleksni deo grupe) (slika 8.) i primer karakterističnih zahvata obrade struganjem sa modelom optimizacije (slika 9.) [13].



Slika 8. Grupne operacije za struganje VI grupe:  
a) kompleksni deo b) grupne operacije struganja  
Fig. 8. Group operations for turning of group VI:  
a) complex part b) group turning-operations

KODIRANJE ZAHVATA OBRADE STRUGANJEM		VAŠTOPOR sistem	
Skica zahvata	Naziv karakterističnog zahvata	kod	oznaka modela optimizac.
	Grubo spoljašnje struganje cilindra	SC10	SCILIN
	Završno spoljašnje struganje cilindra	SC11	
	Grubo spoljašnje struganje cilindra sa ograničenim izlazom noža	SC10	
	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	

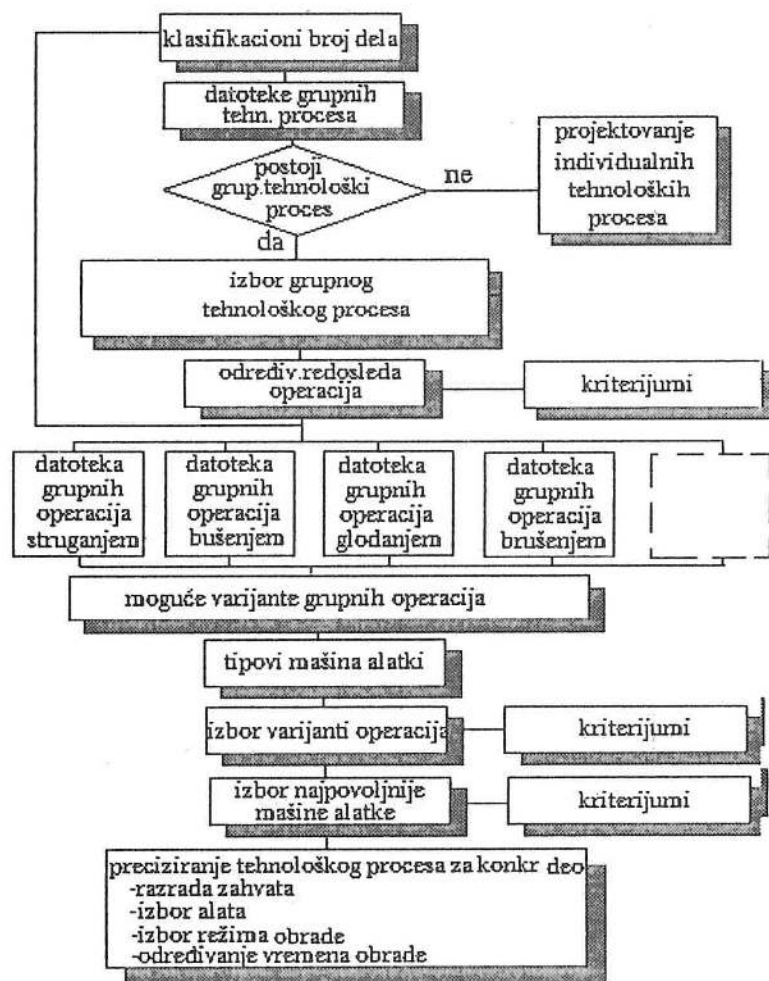
Slika 9. Primer karakterističnih zahvata obrade struganjem  
Fig. 9. An example of characteristic cuts for turning



Izvršeno i memorisano grupisanje delova, projektovani grupni tehnološki procesi i karakteristični zahvati obrade, sa odgovarajućim modelima optimizacije, sve na bazi primenjenih merodavnih kriterijuma i klasifikatora, uz uvažavanje serijnosti i karakteristika opreme, omogućavaju prethodno definisanje opravdanih varijanti konvencionalnih obradnih sistema ili FTs, kao i dalju razradu i optimizaciju tehnoloških procesa obrade za svaki konkretan deo iz grupe. Algoritam projektovanja konkretnog tehnološkog procesa za deo grupe na osnovu memorisanih grupnih rešenja u osnovi se tada svodi na relativno prost sistem (slika 10.).

Prikazani sistemi projektovanja i optimizacije tehnoloških procesa obrade na bazi grupnog koncepta omogućavaju dakle, kako definisanje optimalnih procesa, tako i stvaranje podloga za izbor optimalnih struktura grupnih tehnoloških sistema.

Kada se radi o FTs, očigledno je da se prikazani sistem pripreme tehnoloških procesa i drugih tehnoloških podloga može efikasno koristiti i za izbor optimalne FTs za pojedine formirane grupe delova. Jasno je da će za pojedine varijante složenosti, integracije i automatizacije FTs prvenstveno biti od interesa grupe delova više konstruktivne i tehnološke složenosti. Pri tome je, zavisno od karakteristika razmatranih opravdanih varijanti FTs i karakteristika formiranih grupa delova, neophodno naći njihovu vezu koja će dati najveće ekonomske efekte.



Slika 10. Algoritam razrade tehnološkog procesa za konkretan deo  
Fig. 10. Algorithm for process planning elaboration for a specific part

To znači da se, u slučaju formiranih više grupa delova i na osnovu njih projektovanih grupnih tehnoloških procesa (za kompleksne delove) mogu utvrditi-predvideti primenljive varijante FTs,

koje će moći realizovati sve zahvate iz grupnog procesa, i simulacijom i tehnoekonomskom analizom utvrditi najekonomičnije rešenje (kombinaciju) [5,6,14].

Prema tome, pri izboru optimalne FTs za obradu dela sistematizovanih delova datog asortimana (grupa), grupni tehnološki proces je samo podloga za izbor mogućih varijanti, dakle varijanti koje će obezbediti realizaciju obrade svih delova grupe ili više grupa, a izbor optimalne varijante za date proizvodne uslove treba realizovati upoređenjem funkcija cilja (troškova, vremena) i odgovarajućih kriterijuma optimizacije za vrednosni reprezent jedne ili više grupa (uz proračun redukovanih količina [14]) ili proračunom funkcija cilja za sve delove grupe, što je za fazu koncipiranja i usvajanja FTs složenije i nepovoljnije.

Definisane tehnološke podloge, kao izlazni dokumenti predstavljenog razvijenog automatizovanog sistema projektovanja tehnoloških procesa na bazi grupnog koncepta i primenjenog varijantnog sistema tehnoeekonomske optimizacije, predstavljaju dovoljnu i pouzdanu osnovu za izbor optimalne varijante FTs i projektovanje optimalnih tehnoloških procesa obrade na njima. Pri tome, te podloge omogućavaju i definisanje stepena fleksibilnosti, automatizovanosti i integracije tehnoloških sistema, kao i rešavanje niza drugih napred navedenih specifičnih problema za ekonomičnu eksploataciju FTs. Istovremeno, na navedeni način, formirane tehnološke podloge za FTs mogu biti solidna baza znanja za osavremenjivanje sistema automatizovanog projektovanja, kao što je npr. primena ekspertnih sistema, naravno u opravdanim slučajevima.

#### 4. PRIMENA IZLOŽENOG KONCEPTA U SLUČAJU IZRADE DATOG ASORTIMANA OSOVINA ROTORA ELEKTROMOTORA

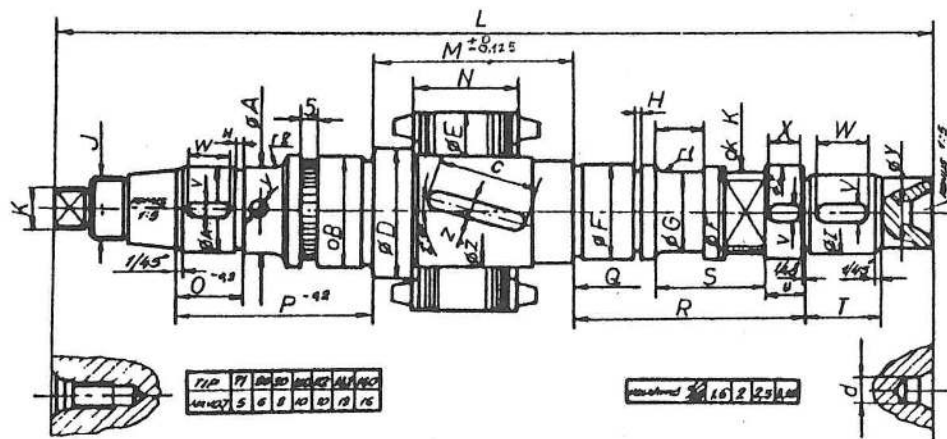
Na osnovu zadatog proizvodnog programa malih elektromotora konkretnog proizvodnog sistema, utvrđen je asortiman i količine osovina-rotora, koje treba izraditi u toku godine, a zatim veličine i broj serija i rokovi isporuke za svaki konkretni rotor. Paralelno sa tim izvršena je i analiza konstruktivnih karakteristika rotora i njihovih postojećih individualnih tehnoloških procesa obrade i korišćenih instalisanih tehnoloških sistema.

Izvršene analize pokazuju da se radi o visokim zahtevima u pogledu fleksibilnosti, mobilnosti i pouzdanosti proizvodnje, s jedne strane, i, na bazi sprovedene unifikacije i standardizacije konstrukcija, velikoj sličnosti konstrukcije i tehnoloških procesa izrade osovina-rotora, s druge strane. Istovremeno, analiza pokazuje da se u sadašnjim proizvodnim uslovima ne mogu ostvariti povoljni tehnoekonomske efekti, odnosno primenjena rešenja tehnoloških procesa, koji se realizuju na više različitih relativno zastarelih tehnoloških sistema, ne mogu obezbediti efikasnu realizaciju postavljenog programa proizvodnje i složenih zahteva tržišta. S druge strane, prethodne grube analize [7,9] pokazuju da se stanje može bitno izmeniti, kako daljom unifikacijom tehnoloških procesa i sistema primenom grupnog koncepta uz korišćenje postojeće tehnološke opreme, tako i uvođenjem neophodnih, a investiciono mogućih, rešenja automatizovanih fleksibilnih tehnoloških struktura.

Zbog toga je sa tim ciljem definisan i razraden istraživačko-razvojni projekat, koji se realizuje u saradnji sa IPM u Novom Sadu, iz koga se dalje izlaže segment odgovarajućih uvodnih rezultata istraživanja.

Kao reprezentni model za navedena istraživanja usvojen je asortiman od 54 kavezna rotora IEC reda. Pokazalo se da su rotori međusobno vrlo slične konstrukcije i da se mogu predstaviti jednim kompleksnim delom (slika 11.). Pojedini rotori se uglavnom razlikuju u dimenzijama (rastu od rednog broja 1 do 54) i odsustvu pojedinih površina u odnosu na kompleksni deo, kao što su npr. površine dimenzija G, J, K, S, T, Y, Z.

Prethodna analiza pokazuje da je opravdano primeniti grupne tehnološke procese i odgovarajuće tehnološke sisteme, na bazi grupisanja osovina-rotora na osnovu njihovih dimenzija, serijnosti i karakteristika (prvenstveno dimenzionih) postojeće tehnološke opreme. Time bi se stvorile pretpostavke i za uvođenje FTs.



red. broj	Tip	Br. crteža	Materijal	br.serija	Količina	Dimenz
						A
1	ZK 71 S	111.3.017	Č.1430	3066	34000	14k6
14	ZK 80	112.3.184	Č.1730	153	4500	19k6
15	ZK 80 W	111.3.112	Č.4171	257	4500	18f6
28	ZK 90	111.2.052	Č.1430	103	2000	16j6
29	MB 90	112.3.248	Č.1430	510	7000	17b
48	1 ZK 132	112.3.339	Č.1430	2040	25000	1
49	1 ZK 132 2S	112.3.431	Č.1430	665	8500	
52	1 ZK 160	112.3.314	Č.1430	2040	2560	
53	1 ZK 160	112.2.200	Č.1430	33	315	
54	ZKF 160	112.2.059	Č.0645	67	630	

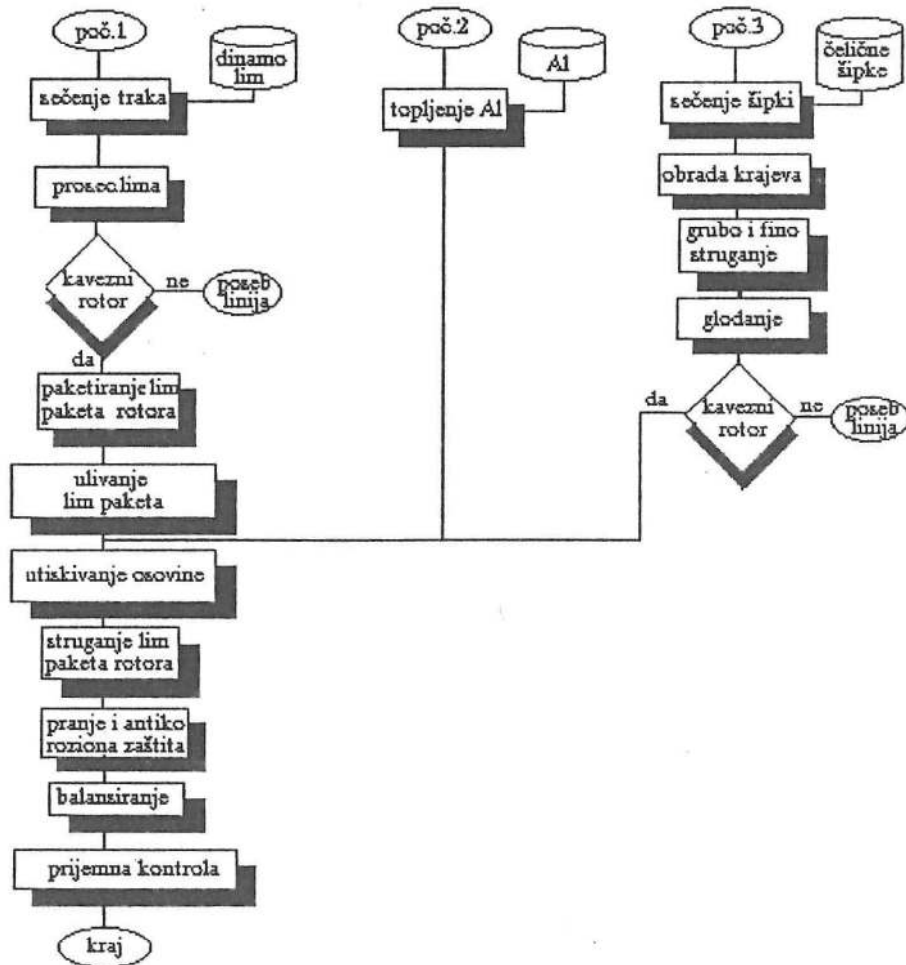
Slika 11. Kompleksna osovina-rotor  
Fig. 11. A complex axle-rotor

Analiza postojećih individualnih tehnoloških procesa obrade u potpunosti potvrđuje napred konstatovano, pa prema tome i neopravdanost primene različitih tehnoloških sistema, koji se međusobno razlikuju pri obradi pojedinih analiziranih rotora. Ako se samo posmatra šematski prikaz postojećeg tehnološkog toka (faza) izrade osovina-rotora (slika 12.), postaje jasna opravdanost primene unificiranih tehnoloških procesa, naročito kada se radi o mašinskoj obradi rezanjem (poč. 3).

Na osnovu podataka o posmatranom asortimanu osovina-rotora (slika 11.) može se zaključiti da se uglavnom radi o izradi u malim i promenjivim serijama, koje se puštaju u proizvodnju prema zahtevima kupaca, a što se može prikazati i dijagramski (slika 13.). Uočava se da se radi o pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji, koja se realizuje na tehnološkim sistemima predviđenim za serijsku i krupnoserijsku proizvodnju i ne može u datim uslovima obezbediti zadovoljavajuće rezultate, kao što je već i ranije naglašeno.

Izloženi primeri rezultata detaljnih analiza postojećeg stanja jasno pokazuju pravce mogućih unapređenja tehnoloških i proizvodnih procesa, koji se u osnovi svode na dve mogućnosti:

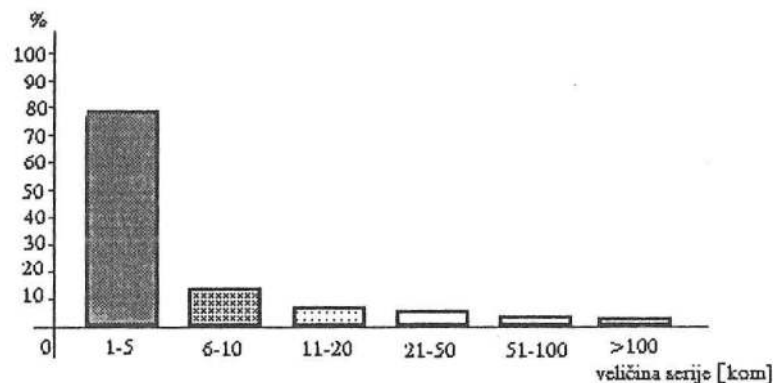
- pripremanje i uvođenje koncepta grupne tehnologije i odgovarajućih sistema pripreme i upravljanja proizvodnjom uz korišćenje postojeće opreme;



Slika 12. Blok šema tehnoloških procesa izrade rotora  
 Fig. 12. Algorithm of process flows in rotor manufacture

- pripremanje podloga, izbor i uvođenje neophodne savremene mobilne i fleksibilne automatizovane opreme uz odgovarajuće osavremenjivanje svih podsistema i funkcija proizvodnog sistema.

U postojećim proizvodno-ekonomskim uslovima nametnula se potreba korišćenja kombinacije obe mogućnosti, koje u osnovi, kako je u prethodnim poglavljima pokazano, zahtevaju iste procedure pripremanja tehnoloških i ekonomskih podloga za odlučivanje pri izboru optimalnih rešenja.



Slika 13. Učestalost veličina serija osovine  
 Fig. 13. Axle lot-size frequencies

Uvažavajući navedeno, a usvajajući koncept razvoja tehnoloških procesa i sistema koji vodi uvođenju CIM sistema, u okviru postojećih mogućnosti pristupilo se razmatranju podloga i strategije odlučivanja za uvođenje FTs za obradu struganjem osovina, koje se izrađuju iz šipkastih priprema.

Primenom izloženog koncepta pripremanja tehnoloških podloga (dato u poglavlju 3 ovog rada) za izbor optimalne varijante FTs, izvršeno je grupisanje delova u grupe, prvenstveno na osnovu dimenzionih karakteristika, projektovane i analizirane varijante grupnih operacija na primenjivim rešenjima FTs za struganje stranih proizvođača i izvršena tehnoeekonomska analiza za izbor optimalnih FTs na bazi proračuna za vrednosne reprezentate grupa.

Za formiranu grupu osovina većih dimenzija, iznad ZK 100, projektovane su grupne operacije za obradu struganjem (sa mogućnošću i glodanja žljebova), i na osnovu toga i ponuda proizvođača razmatrane tri najpovoljnije varijante FTc: TNS 65 D firme TRAUB, 30 ATC firme MAZAK i GU 600-4A firme INDEX. Pri usvajanju navedenih mašina, pored tehnoloških mogućnosti, uzete su u obzir i druge bitne karakteristike, kao što su npr. cene, pouzdanost, fleksibilnost, manipulacija, nadzor i slično.

Izbor optimalne varijante FTc izvršen je za date uslove primenom odgovarajućeg modela tehnoeekonomske optimizacije [1,13,14] preko merodavnog vrednosnog reprezentata grupe (osovina rotra elektromotora 1 ZK 132) i za njega proračunatih redukovanih količina [5,6,7]. Kao najpovoljnije rešenje usvojena je FTc GU 600-4A INDEX. Pri tome, pored uvažavanja ekonomskih efekata, minimalnih troškova obrade po komadu, značajnu ulogu pri izboru imala je i ekspertska ocena kvaliteta i pouzdanosti mašine, kao i mogućnost korišćenja domaćih iskustava u eksploataciji takvih mašina.

## 5. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČCI

Rezultati ranijih i aktuelnih istraživanja u oblasti automatizacije projektovanja i efikasne primene koncepta grupne tehnologije, s jedne strane, i rezultati istraživanja i primene modela tehnoeekonomske optimizacije obradnih i tehnoloških procesa, s druge strane, iako u značajnoj meri i praktično verifikovani, u domaćoj proizvodnji nisu dali odgovarajuće rezultate. Osnovni razlog za to je nedovoljno angažovanje samih preduzeća, njihovih kadrovskih i materijalnih potencijala, za rešavanje takve složene i naučno osnovane problematike.

Savremeni sve oštriji i složeniji zahtevi tržišta, koji se postavljaju pred domaće proizvodne sisteme industrije prerade metala, u uslovima proizvodnje i poslovanja, koji su bitno otežani, kada se radi o tehnološkom razvoju i primeni savremenih i domaćih rezultata istraživanja i postojećeg znanja, postavljaju pred preduzeća niz zadataka koji se moraju rešavati na višem nivou u odnosu na prethodni period. Jedan od takvih zadataka je istraživanje, uvođenje i ekonomična primena fleksibilnih automatizovanih tehnoloških struktura i proizvodnih sistema, što, kako je već naglašeno, predstavlja vrlo složen problem.

Izloženi pristup za pripremanje i uvođenje pojedinih varijanti FTs može dati značajan doprinos u ostvarivanju viših tehnoekonomskih efekata u domaćoj proizvodnji. To naravno zahteva drugačiji pristup ne samo u detaljnijim analizama osnova za izbor optimalnih rešenja, već i razvoj i primenu savremenijih sistema pripreme proizvodnje, sistema upravljanja proizvodnjom i proizvodno informacionih sistema.

Dobijeni rezultati sopstvenih ranijih i sadašnjih istraživanja, čiji je deo prikazan u ovom radu, ukazuje na moguće racionalne puteve rešavanja navedene aktuelne složene problematike.

Model pripremanja tehnoloških podloga, na bazi automatizacije projektovanja tehnoloških procesa primenom koncepta grupne tehnologije i varijantnog sistema tehnoeekonomske optimizacije, omogućava definisanje neophodnih pouzdanih tehnoloških podloga za izbor racionalnih varijanti savremenih fleksibilnih tehnoloških struktura. Svakako da pri tome treba rešiti niz praktičnih problema u konkretnim proizvodnim sistemima. Tu se pre svega misli na konkretan razvoj i primenu sistema grupisanja delova, sistema projektovanja

Na bazi toga se mogu, kada je to neophodno, uključiti i moderne metode projektovanjaj optimizacije tehnoloških procesa obrade, zasnovane na pouzdanoj bazi znanja i primeni ekspertnih sistema, što predstavlja jedan od daljih zadataka rada i na navedenom konkretnom projektu.

## 6. LITERATURA

- [1] BANJAC, D., TODIĆ, V., SOVILJ, B., RODIĆ, M. i dr: Tehnoekonomska optimizacija elemenata tehnologije mašinske obrade, Deo I, II i III, *Elaborat naučnoistraživačkog projekta, IPM, FTN*, Novi Sad, 1980.
- [2] BANJAC, D., TODIĆ, V., RODIĆ, M., SOVILJ, B. i dr: Automatizacija projektovanja grupnih linija obrade, *Elaborat naučnoistraživačkog projekta, IPM, FTN*, Novi Sad, 1981.
- [3] BANJAC, D., RODIĆ, M., TODIĆ, V., STANIĆ, J. i dr: Unapređenje i primena metoda grupne tehnologije, *Elaborat naučnoistraživačkog projekta, IPM, FTN*, Novi Sad, 1986.
- [4] BANJAC, D., RODIĆ, M., TODIĆ, V.: Automatizacija projektovanja tehnoloških procesa obrade na bazi primene principa grupne tehnologije, *Zbornik radova VIII JUPITER konferencije, Zvečevo*, 1982.
- [5] BORISOV, V.B., BORISOV, E.I., VASILEV, V.N. i dr: Spravočnik tehnologa mašinstroitelja, Tom 1, *Mašinstroenie*, Moskva, 1985.
- [6] GATALO, R., REKECKI, J., STANKOV, J., BANJAC, D i dr.: Fleksibilni proizvodni sistemi za obradu rotacionih delova - postavljanje osnovnih koncepcija, *Elaborat rezultata istraživanja, IPM, FTN*, Novi Sad, 1989.
- [7] GOJKOVIĆ, D.: Racionalizacija i unapređenje tehnoloških procesa izrade rotora elektromotora, *Semnerski rad, Mašinski fakultet*, Podgorica, 1993.
- [8] EVERSHEIM, W.: Organisation in der Produktionstechnik, Band 3, *Arbeitsvorbereitung, VDI - Verlag*, Dusseldorf, 1980.
- [9] KOVAČ, A.: Izbor optimalne varijante automatizovanog FTS za obradu rotacionih delova malih električnih mašina za uslove RO "SEVER"- Subotica, *Diplomski rad, FTN*, Novi Sad, 1989.
- [10] MITROFANOV, P.S. i dr.: Primenenie EVM s tehnologičeskoj podgotovke serijnogo proizvodstva, *Mašinstroenie*, Moskva, 1981.
- [11] RODIĆ, M.: Uvođenje grupne tehnologije i klasifikacionih sistema u proizvodnji mašina alatki primenom tehnike mikrofilma i računara, *Magistarski rad, FTN*, Novi Sad, 1981.
- [12] RODIĆ, M., BANJAC, D.: Racionalizacija tehnološke pripreme proizvodnje primenom klasifikacionih sistema, *Zbornik radova, Naučno-stručni skup "Industrijski sistemi-IS'84"*, Novi Sad, 1984.
- [13] TODIĆ, V.: Varijantni automatizovani sistem tehnoekonomske optimizacije tehnoloških procesa, *Doktorska disertacija, FTN*, Novi Sad, 1987.
- [14] TODIĆ, V., BANJAC, D.: Ocena rešenja FPS i tehnoloških procesa obrade na osnovu proizvodnosti i ekonomičnosti, *Zbornik radova IPM, FTN*, Novi Sad, br.10, 1993.