



---

## PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA PROIZVODNJE ZA FLEKSIBILNE PROIZVODNE SISTEME

Dejan Lukić<sup>1</sup>, Mijodrag Milošević<sup>2</sup>, Aco Antić<sup>3</sup>, Stevo Borojević<sup>4</sup>, Mića Đurđev<sup>5</sup>

*Rezime: Fleksibilni proizvodni sistemi (FMS) predstavljaju složene sisteme koji se sastoje od mašina za obradu i/ili montažu koje su međusobno povezane manipulacionim, merno-kontrolnim i transportnim sistemima, čije je upravljanje pomoću računara. FMS imaju visoke proizvodne mogućnosti, ali i visoke troškove investicija, zbog čega se za analizu uslova njihove racionalne primene moraju koristiti pouzdane tehnološke i ekonomske podloge. Uzimajući u obzir sve složenije uslove proizvodnje i plasmana proizvoda, neophodan je sistemski prilaz pri projektovanju i primeni FMS, odnosno njihovih elemenata, različitog nivoa proizvodnosti i fleksibilnosti. FMS su namenjeni za proizvodnju jedne ili više familija proizvoda, zbog čega se njihov razvoj i primena bazira na principima grupne tehnologije. U ovom radu je prikazana metodologija projektovanja tehnoloških procesa proizvodnje za razvoj i primenu FMS, sa verifikacijom na primeru jedne tehnološke grupe rotacionih delova.*

*Ključne riječi: projektovanje tehnoloških procesa proizvodnje, grupna tehnologija, fleksibilni proizvodni sistemi (FMS)*

### MANUFACTURING PROCESS PLANNING FOR FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

*Abstract: Flexible manufacturing systems (FMS) are complex systems consisting of machines for machining and/or assembly that are interconnected by manipulation, measurement, control and transport systems supported by computers. FMSs have high manufacturing capabilities, but also high price and investment costs, which is why reliable technological and economic bases must be used to analyze the conditions for their rational use. Taking into account increasingly complex conditions in manufacturing and product launch, it is necessary to use systematic approach in design and*

---

<sup>1</sup> Prof. dr Dejan Lukić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Srbija, e-mail: lukicd@uns.ac.rs

<sup>2</sup> Prof. dr Mijodrag Milošević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Srbija, e-mail: mido@uns.ac.rs

<sup>3</sup> Prof. dr Aco Antić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Republika Srbija, e-mail: antica@uns.ac.rs

<sup>4</sup> Doc. dr Stevo Borojević, Univerzitet u Banja Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Bosna i Hercegovina, e-mail: stevoborojevic@hotmail.com

<sup>5</sup> MSc Mića Đurđev, stručni saradnik, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, Srbija, e-mail: micadjurdjev@gmail.com

*implementation of FMSs, i.e. their elements, of different levels of productivity and flexibility. FMSs are designed for manufacturing one or more product families which is why their development and implementation are based on the principles of the group technology. This paper presents the methodology of manufacturing process planning for design and implementation of FMS with the verification on the product example belonging to a technological group of rotary parts.*

*Key words: manufacturing process planning, group technology, flexible manufacturing systems (FMS)*

## **1 UVOD**

Pred savremene proizvodne sisteme u industriji prerade metala nameću se vrlo oštri zahtevi tržišta u pogledu visokog kvaliteta i niske cene proizvoda, širokog i promenljivog asortimana i različite dinamike isporuke. U uslovima velikoserijske i masovne proizvodnje, zahvaljujući automatizaciji, proizvodnost i ekonomičnost su dostigli relativno visok nivo. Međutim, u ukupnoj strukturi metalske industrije dominiraju pojedinačna i maloserijska proizvodnja, čije se učešće sve više povećava usled težnje potrošačkog društva za sve većim brojem različitih proizvoda. Zbog toga se nameće potreba za savremenim proizvodnim sistemima sa efektima automatizovane velikoserijske i masovne proizvodnje u pogledu proizvodnosti i ekonomičnosti i efektima pojedinačne i maloserijske proizvodnje u pogledu fleksibilnosti i mobilnosti [1].

Fleksibilni proizvodni sistemi (FMS) predstavljaju osnovu da proizvodni sistem istovremeno postigne visok nivo fleksibilnosti i proizvodnosti, odnosno da se smatra agilnim [2, 3]. Osnovne jedinice FMS-a predstavljaju CNC mašine alatke, posebno na današnjem nivou kada su one multifunkcionalne i integrišu različite procese obrade (struganje, glodanje/bušenje, brušenje, itd.) i različite tehnologije obrade (rezanje, termička obrade i dr.). Povezivanjem ovakvih mašina sa manipulacionim, merno-kontrolnim i transportnim sistemima, kao i njihovim upravljanjem pomoću računara nastaju FMS različitog nivoa složenosti, proizvodnosti i fleksibilnosti [4].

FMS zbog svojih visokih proizvodno-tehnoloških mogućnosti, visoke cene i troškova investicija zahtevaju uslove pri kojima se obezbeđuje njihova racionalna eksploatacija. Uzimajući u obzir sve složenije uslove proizvodnje i plasmana proizvoda, neophodan je sistemski prilaz pri projektovanju i primeni FMS-a, koji će obuhvatiti najbitnije tehnološke i ekonomske karakteristike. U ovom radu je na primeru formirane tehnološke grupe rotacionih delova - nastavka prikazana metodologija projektovanja tehnoloških procesa proizvodnje kao podloge za racionalan razvoj i tehnoekonomsku primenu FMS-a, odnosno njegovih sastavnih elemenata.

## **2 PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA PROIZVODNJE ZA FMS-TEORIJSKE PODLOGE**

Predložena metodologija za razvoj i primenu FMS-a prikazana je u radu [5] i sastoji se od tri integralne celine, odnosno faze:

- 1. Tehnološke osnove za razvoj i primenu FMS-a,*
- 2. Vrednovanje i izbor elemenata FMS-a i*
- 3. Modeliranje, simulacija i optimizacija FMS-a.*

Prva etapa-postavljanje tehnoloških osnova se u suštini odnosi na projektovanje tehnoloških procesa izrade proizvoda iz programa proizvodnje, čime se stvaraju

neophodne podloge za razvoj i primenu FMS-a. Ova etapa se sastoji od sledećih zadataka [6]:

- Analiza proizvodnog programa i formiranje tehnoloških/operacijskih grupa,
- Projektovanje ili izbor kompleksnih delova,
- Projektovanje grupnih tehnoloških procesa proizvodnje,
- Preciziranje tehnoloških procesa i određivanje vremena pojedinih zahvata, operacija i tehnoloških procesa u celini,
- Određivanje nivoa složenosti i broja elemenata FMS-a (mašina/radnih mesta, pribora, alata, merno-kontrolnih sistema, itd.),
- Analiza tehnoeekonomskih efekata primene elemenata FMS-a

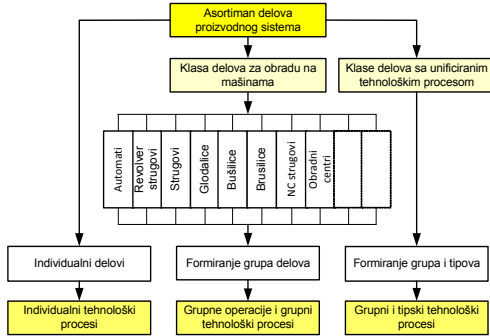
Iako istaknute karakteristike i ciljevi FMS-a tretiraju rešavanje problema pri njihovom projektovanju, može se istaći da je ista situacija i kada se radi o njihovoj primeni. Naravno da se pri primeni FMS-a najveći deo problema rešava projektovanjem, optimizacijom i terminiranjem tehnoloških procesa izrade proizvoda, prilagođenih karakteristikama i ograničenjima FMS-a.

Polazeći od principa klasifikacije i grupisanja proizvoda, ukupan asortiman delova proizvodnog sistema se može sistematizovati prema konstrukciono-tehnološkoj sličnosti, odnosno podeliti na određene celine za koje je racionalno primeniti koncept grupne tehnologije, slika 1. Na osnovama grupne tehnologije koju je uspostavio Mitrofanov [7] i kao rezultat istraživanja koje je realizovao Burbidge [8] razvijen je novi pristup u proizvodnji - grupni prilaz u projektovanju efektivne proizvodnje i proizvodnih struktura. Koristeći ovaj pristup, na osnovu klasifikacije delova u proizvodnom procesu, kreiraju se grupe geometrijski i tehnološki sličnih delova – operacijske grupe (familije), koje predstavljaju osnovu za grupni pristup u projektovanju tehnoloških procesa, slika 2. Spajanjem pojedinih operacijskih grupa koje imaju slične tehnološke procese u veće tehnološke grupe stvara se mogućnost za njihovu izradu na odgovarajućim fleksibilnim proizvodnim sistemima. Na slici 3 dat je prikaz proizvodnih tokova baziranih na principima projektovanja individualnih tehnoloških procesa i uređenih tokova za slučaj primene koncepta grupne tehnologije, odnosno grupnih tehnoloških procesa i primene FMS-a.

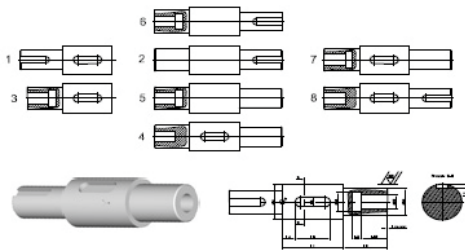
Projektovanje tehnoloških procesa na principima grupne tehnologije ima za cilj povećanje količina proizvoda u okviru proizvodnog programa na principima sličnosti, čime se povećava serijnost delova i prelazi na više tipove proizvodnje, omogućujući primenu obradnih sistema povišenog stepena efikasnosti. Prilaz na povećanju količina se zasniva na objedinjavanju proizvoda sličnih karakteristika, odnosno sistematizaciji i grupisanju proizvoda na osnovu njihove sličnosti, najčešće primenom odgovarajućih konstrukciono-tehnoloških klasifikatora u cilju standardizacije tehnoloških procesa izrade. Grupni tehnološki proces i grupne operacije izrade, projektuju se i realizuju u proizvodnji, za formiranu tehnološku grupu delova, odnosno operacijske grupe, primenom zajedničkih obradnih sistema, odnosno istih grupa mašina, pribora i alata, uz jednu njihovu osnovnu pripremu. Kako bi se po grupnom konceptu mogli obrađivati svi delovi iz jedne grupe, grupni tehnološki proces mora obuhvatiti sve operacije, a grupna operacija mora obuhvatiti sve zahvate, kojima će se obraditi svi tipski oblici i/ili površine delova iz grupe. Zbog toga se projektovanje grupnog tehnološkog procesa vrši za predstavnika grupe koji se naziva kompleksan deo. Ovaj kompleksan deo može biti stvaran deo iz grupe, ako sadrži sve tipske oblike (features) ostalih delova i imaginaran kompleksan deo, ako se on projektuje samo u cilju definisanja grupnog tehnološkog procesa [5, 6, 9].

Definisanjem sadržaja grupnog tehnološkog procesa za određenu tehnološku grupu utvrđuju se vrste i nivoi potrebnih mašina i radnih mesta, dok se definisanjem

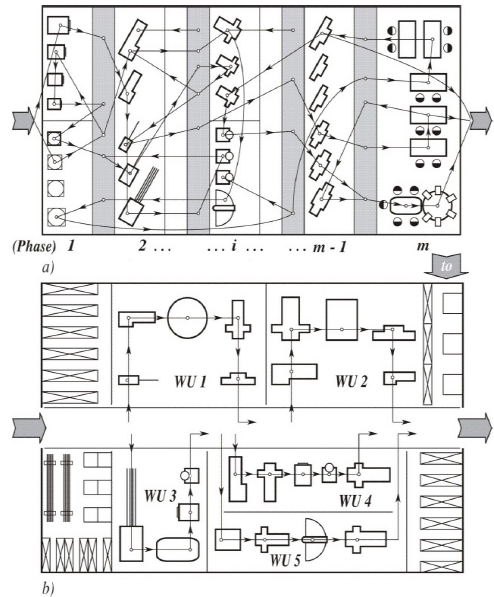
pojedinih grupnih operacija stvaraju podloge za izbor vrste i nivoa drugih elemenata FMS-a, kao što su alati, pribori, merno-kontrolni sistemi, itd.



Slika 1. Sistematizacija delova iz programa proizvodnje [7]



Slika 2. Primer jedne operacijske grupe delova [5]



Slika 3. Proizvodni tokovi kod individualnih i grupnih tehnoloških procesa izrade [10]

Grupni tehnološki procesi i odgovarajuće grupne operacije omogućuju lako i brzo preciziranje tehnološkog procesa izrade delova iz grupe. Preciziranje tehnoloških procesa za sve delove se radi za slučaj detaljnog/konačnog projektovanja FMS-a, pri čemu se dobijaju precizni tehnokonomski podaci (vreme, troškovi, stepen iskorišćenja...). Preciziranje tehnološkog procesa samo za predstavnike odgovarajuće grupe se radi za slučaj konceptualnog/prethodnog projektovanja FMS-a, pri čemu se dobijaju približni tehnokonomski podaci, čija tačnost zavisi od metodologije koja se primenjuje. U cilju što racionalnijeg i bržeg određivanja komadnog vremena operacija izrade tehnološke grupe kod konceptualnog projektovanja, potrebno je precizirati operacije izrade za odgovarajuće predstavnike, u zavisnosti od metode koja se koristi za određivanje ovog vremena. One se u praktičnoj primeni koriste kao analitičke ili grafičke, dok će se ovde prikazati studija slučaja primene metode sličnosti, koja spada u grupu grafoanalitičkih metoda.

Ova metoda obezbeđuju približno određivanje komadnih i pripremno-završnih vremena, čime se u proizvodnoj praksi dobijaju zadovoljavajući rezultati pri određivanju normativa vremena za pojedine operacije obrade, a time i podloga za određivanje nivoa složenosti, broja elemenata obradnih sistema i utvrđivanja vremenskog stepena njihovog iskorišćenja. Na osnovu geometrijskih karakteristika delova iz grupe, zahteva predviđenih projektovanim tehnološkim procesom i karakteristika raspoloživih resursa biraju se nivoi složenosti elemenata FMS-a.

U posmatranom slučaju za formiranu tehnološku, odnosno operacijsku grupu rotaciono simetričnih delova – nastavaka prikazana je metodologija definisanja

tehnoloških osnova za razvoj i primenu FMS-a, dok je određivanje vremena i resursa prikazano na primeru grupne operacije struganja na bazi metode sličnosti.

### 3 PODLOGE ZA RAZVOJ I PRIMENU FMS – STUDIJA SLUČAJA

#### 3.1.1 Projektovanje grupnih tehnoloških procesa izrade

Analizom proizvodnog programa posmatranog proizvodnog sistema, primenom konstrukciono-tehnološkog klasifikatora formirana je tehnološka grupa rotaciono-simetričnih delova, među kojima je izdvojena jedna operacijska grupa za razmatranje. Ovu grupu delova čine nastavci, čiji su osnovni podaci dati u tabeli 1.

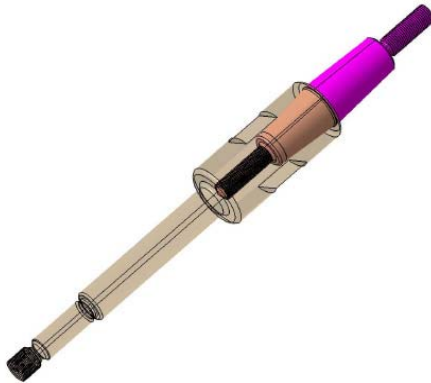
Na osnovu geometrijskih i tehnoloških karakteristika delova iz grupe projektovan je imaginarni kompleksan deo, sa svim pripadajućim tipskim oblicima (features), slika 4. Na osnovu definisanog modela kompleksnog dela, obima proizvodnje, raspoloživih resursa i drugih potrebnih podataka projektovan je grupni tehnološki proces, čiji je sadržaj prikazan u tabeli 2., a karta grupne operacije obrade 20/1 na slici 5.

Tabela 1. Osnovni podaci tehnološke grupe nastavaka

No.	Oznaka dela	Obim proizvodnje (kom/ser)	Masa dela (kg)	Vrednost (n.j./kom.)
1	708 033	320	0,126	15.000
2	708 038	300	0,134	15.400
3	708 041	280	0,109	14.200
4	708 046	400	0,109	14.200
5	708 047	350	0,109	14.200
6	708 169	260	0,133	15.400
7	708 170	340	0,133	15.400
8	708 181	360	0,149	15.700

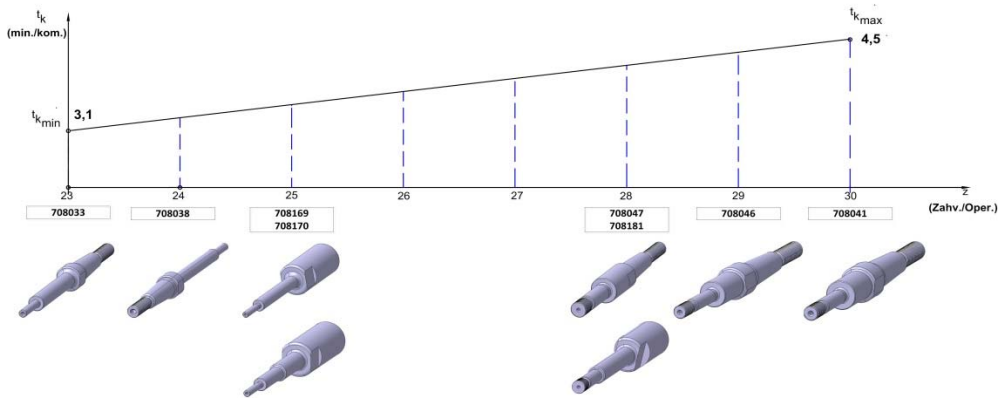
Tabela 2. Sadržaj tehnološkog procesa izrade kompleksnog dela grupe nastavaka

R.br.	Naziv operacije	Mašina/uređaj/radno mesto
10	Odsecanje	Testera
20/1	Struganje leve strane	CNC strug
20/2	Struganje desne strane spoljašnje i unutrašnje	
30	Kontrola	Kontrolni sto
40	Glodanje	NC glodalica
50	Doterivanje	Radni sto
60	Poboljšanje	Peć za T.O.
70	Kontrola T.O.	Uređaj za merenje tvrdoće
80	Brušenje središnjeg gnezda	NC brusilica
90	Brušenje otvora	NC brusilica za unutrašnje brušenje
100	Brušenje spoljašnje strane	NC brusilica za okruglo brušenje
110	Završna kontrola	Radni sto



Slika 4. 3D model kompleksnog dela

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA NOVI SAD		KARTA GRUPNE OPERCIJE										DEPARTMAN ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO																														
Način pruge (režim):	TEI-Rastaviti	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Identifikacioni broj operacije																															
Material:	Č. 1531	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Identifikacioni broj dela																															
Čvrsto i elastični podaci (moduli):	Videti u listu 01	18	19	20	21	22	23	24	25	26	Čvrsto i elastični podaci																															
Vrednosti serije:		27	28	29	30	31	32	33	34	35	Integracioni broj dela																															
broj operacije	SKICA OPERACIJE	OPIS OPERACIJE										Vremena (min)			Particijama (kom)																											
		Prilozak	Alat	Prilozak	x	y	z	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>																													
20/1		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						
		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
		101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	
		141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	
		181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	
		221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	
		261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	
		301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	
		341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	
	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420		
	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460		
	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500		
	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540		
	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580		
	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620		
	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660		
	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700		
	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740		
	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780		
	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820		
	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860		
	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900		
	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940		
	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980		
	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020		
	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060		
	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100		
	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140		
	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180		
	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201</																					



Slika 6. Zavisnost komadnog vremena operacije struganja od broja zahvata

Na osnovu slike 6, određen je koeficijent pravca  $k$ :

$$k = \frac{t_{k\max} - t_{k\min}}{z_{\max} - z_{\min}} = \frac{4,5 - 3,1}{30 - 23} = 0,2 \quad (2)$$

Kao primer prikazan je postupak određivanja komadnog vremena za deo No.5 - nastavak oznake 708 047, koji u ovoj operaciji ima 28 zahvata:

$$t_{k5} = t_{k_1} + k \cdot (z_5 - z_1) = 3,1 + 0,2 \cdot (28 - 23) = 4,1 \text{ (min/kom)} \quad (3)$$

U tabeli 3 dati su podaci o vremenima operacije obrade struganjem za sve delove iz grupe, dobijenih primenom posmatrane metode.

Tabela 3. Podaci za komadna vremena operacije struganja delova iz grupe

Oznaka dela (nastavka)	708033	708038	708041	708046	708047	708169	708170	708181
Komadno vreme (min/kom)	3,1	3,3	4,5	4,3	4,1	3,5	3,5	4,1

Na osnovu prethodno definisanih podataka određeno je ukupno ciklusno vreme operacije obrade struganjem posmatrane tehnološke grupe prema (1), koje iznosi:

$$T_c = 320 \cdot 3,1 + 300 \cdot 3,3 + (260 + 340) \cdot 3,5 + (350 + 300) \cdot 4,1 + 400 \cdot 4,3 + 280 \cdot 4,5 = 9973 \text{ (min/ser)}$$

### 3.1.3 Proračun potrebnog broja i stepena iskorišćenja elemenata FMS

Ako je planirani obim proizvodnje nekog proizvoda  $Q_i$ , onda je ukupno vreme zauzetosti obradnog sistema na određenoj operaciji u tehnološkom procesu izrade ovog proizvoda na godišnjem nivou određeno izrazom (4):

$$T_i = Q_i \cdot t_{ki} + Q_i \cdot \frac{T_{pz_i}}{z_s} = Q_i \cdot t_{ki} + n_{s_i} \cdot T_{pz_i} \text{ (min/god)} \quad (4)$$

gde su:

- $t_{ki}$  – komadno vreme (min/kom)
- $T_{pz}$  - pripremno – završno vreme za seriju delova (min/ser)
- $z_s$  - predviđena veličina serije (kom/ser)
- $n_s$  – broj serija u određenom vremenskom periodu (ser/god)

Ako se uzme da posmatrani pogon radi  $m_e=250$  dana/god.,  $s_e=2$  smene/dan, sa  $n_e=7,5$  čas./smeni i stepenom iskorištenja  $\eta_e=0,8$ , sledi da je efektivni kapacitet rada obradnog sistema  $K_e=180000$  (min/god).

Na osnovu prethodno proračunatog ciklusnog vremena, uzimajući da je  $n_s=6$  ser/god, potreban broj i stepen iskorišćenja obradnog sistema na posmatranoj operaciji obrade struganjem je:

$$T = 6 \cdot 9973 + 6 \cdot 30 = 60018 \text{ (min/god)} \quad (5)$$

$$N = \frac{60018}{180000} = 0,333 \quad (6)$$

$$\eta = \frac{0,333}{1} = 33,3\% \quad (7)$$

Na osnovu prethodnog, stepen iskorišćenja CNC struga na godišnjem nivou za obradu posmatrane grupe delova iznosi 33,3%, dok je za radnika/poslužioca  $\eta=66,6\%$  (pri čemu je  $s_e=1$  smena/dan). U cilju definisanja i drugih elemenata FMS-a, potrebno je odrediti i neophodan kvalitet i kvantitet alata, pribora, merila i dr., što ovde nije prikazano zbog obima rada. Na osnovu prethodnih podataka se vrlo efektno mogu realizovati 2 i 3 faza, vrednovanja i izbora elemenata FMS-a, odnosno modeliranje, simulacija i optimizacija rada FMS-a [5, 6, 11].

#### **4 ZAKLJUČCI**

Projektovani grupni tehnološki procesi za odgovarajuće tehnološke/operacijske grupe delova omogućuju preciziranje tehnoloških procesa izrade njihovih reprezentata, čime se stvaraju kvalitetne tehnološke osnove za razvoj i primenu FMS-a. Definisanjem sadržaja grupnih tehnoloških procesa i odgovarajućih grupnih operacija na bazi realnih ili imaginarnih kompleksnih delova, stvaraju se tehnološke osnove za izbor vrsta i nivoa složenosti elemenata FMS-a za pojedine grupne operacije.

Proračun potrebnih kapaciteta, odnosno nivoa složenosti, broj i stepena iskorišćenosti elemenata FMS-a za pojedine operacije grupnog tehnološkog procesa izrade određene tehnološke grupe, baziran na preciziranim vremenima operacija obrade reprezentata i metodi sličnosti, obezbeđuje rešavanje i ovih, komplikovanih zadataka na racionalan, dovoljno pouzdan način. Razvijena metodologija verifikovana je na prikazanom primeru operacijske grupe delova - nastavaka.

Na osnovu dobijenih podataka iz prikazane faze postavljanja tehnoloških osnova za razvoj i primenu FMS-a, vrlo se efektno mogu realizovati i ostale faze koje se odnose na vrednovanje i izbor elemenata FMS-a, odnosno modeliranje, simulaciju i optimizaciju primene FMS-a.

#### **ZAHVALNOST**

Rad predstavlja deo istraživanja na projektu ev. broj TR 35025 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

#### **LITERATURA**

- [1] Chryssolouris, G. (2006). *Manufacturing Systems: Theory and Practice*, Springer Science and Business Media, Inc., New York.
- [2] Shivanand, H. K., Benal, M. M., Koti, V. (2006). *Flexible Manufacturing System*, New age International (P) Limited, New Delphi.

- [3] Stefanović, M. (2006), *CIM sistemi*, Mašinski fakultet, Kragujevac.
- [4] Satya, S. C., Douglas, N. H. (2008). The evolution of manufacturing cells. An action research study, *European Journal of Operational Research*, vol. 188, no. 1, p.p. 153-168.
- [5] Todić, V., Lukić, D., Milošević, M., Borojević, S., Vukman, J. (2011). Application of simulation techniques in the development and implementation of flexible manufacturing systems, *XV International Scientific Conference on Industrial Systems (IS'11)*, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, p.p. 23-28.
- [6] Lukić, D., Todić, V., Milošević, M., Jovičić, G. (2011). One approach to the development and implementation of flexible manufacturing systems, *10th Anniversary International conference an accomplishments in Electrical and mechanical Engineering and Information Technology*, Faculty of Mechanical Engineering, Banja Luka, p.p. 385-390.
- [7] Mitrofanov, S.P. (1996). *The Scientific Principles of Group Technology*, National Landing Library Translation, Yorks, UK, Boston Spa.
- [8] Burbidge, J.L. (1978) *The introduction of group technology*. Heineman, London.
- [9] Ham, I., Hitomi, K., and Yoshida, T. (1985). *Group Technology. Applications to Production Management*, Kluwer-Nijhoff, Boston.
- [10] Morača, S., Hadžistević, M., Drstvenšek, I., Radaković, N. (2010). Application of Group Technology in Complex Cluster Type Organizational Systems, *Strojniski Vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, vol. 56, no. 10, p.p. 663-675.
- [11] Lukić, D., Morača, S., Milošević, M., Antić, A., Đurđev, M. (2018). Razvoj funkcionalnog modela tehnološke pripreme proizvodnje u metalском klasteru, *41. Jupiter konferencija*, Mašinski fakultet, Beograd, p.p.1.11-1.16.