



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Branislav Stevanov

Razvoj modela planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2014.



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :	
Идентификациони број, ИБР :	
Тип документације, ТД :	Монографска публикација
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР :	Докторска дисертација
Аутор, АУ :	мр Бранислав Стеванов
Ментор, МН :	др Здравко Тешић
Наслов рада, НР :	Развој модела планирања и управљања виртуелним производним ћелијама
Језик публикације, ЈП :	Српски / Латиница
Језик извода, ЈИ :	Српски / Енглески
Земља публикавања, ЗП :	Србија
Уже географско подручје, УГП :	Војводина
Година, ГО :	2014
Издавач, ИЗ :	Факултет техничких наука
Место и адреса, МА :	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	9/180/130/76/58/0/7
Научна област, НО :	Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент
Научна дисциплина, НД :	Индустријско инжењерство
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Виртуелна производна ћелија; планирање и управљање производњом
УДК	-
Чувасе, ЧУ :	У библиотеци Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, ВН :	Нема
Извод, ИЗ :	У докторској дисертацији су представљени модели за планирање и управљање производним системом организованим путем виртуелних производних ћелија. У моделима су развијени поступци одређивања дужине планског периода и броја фаза обраде или монтаже. У моделима је развијен поступак креирања виртуелних производних ћелија имајући у виду захтеве планског и управљачког система. Модели омогућују реконфигурацију ћелија услед анализе оптерећења технолошких система и могућности реализације терминских планова производње. Модели су испитани на примерима два производна предузећа са територије Републике Србије.
Датум прихватања теме, ДП :	22.2.2012.
Датум одбране, ДО :	
Чланови комисије, КО :	Председник: др Илија Ћосић, редовни професор
	Члан: др Радо Максимовић, редовни професор
	Члан: др Бранко Шкорић, редовни професор
	Члан: др Милош Сорак, редовни професор
	Члан, ментор: др Здравко Тешић, ванредни професор
	Потписментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monograph
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Doctoral dissertation
Author, AU :	Branislav Stevanov, M. Sc., dipl. eng.
Mentor, MN :	dr Zdravko Tešić
Title, TI :	Development of production planning and control models for virtual manufacturing cells
Language of text, LT :	Serbian / Latin
Language of abstract, LA :	Serbian / English
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2014
Publisher, PB :	Faculty of technical sciences
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	9/179/129/76/58/0/7
Scientific field, SF :	Industrial engineering and engineering management
Scientific discipline, SD :	Industrial engineering
Subject/Key words, S/KW :	Virtual manufacturing cell, production planning and control
UC	-
Holding data, HD :	Library of Faculty of technical sciences, Novi Sad
Note, N :	None
Abstract, AB :	Doctoral dissertation presents models for production planning and control of virtual manufacturing cells. Models present developed procedure for the determination of the production planning period and the number of processing or assembly stages. Models also present the process of creating virtual manufacturing cells, bearing the requirements of the production planning and control system. The models enable the reconfiguration of cells due to the analysis of machines workload and due to the analysis of the production schedule. The models were tested on the examples of two production companies from the Republic of Serbia .
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	22.2.2012.
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: dr Ilija Ćosić, full professor
	Member: dr Rado Maksimović, full professor
	Member: dr Branko Škorić, full professor
	Member: dr Miloš Sorak, full professor
	Member, Mentor: dr Zdravko Tešić, associate professor
	Mentor's sign

Sadržaj

Sadržaj	i
Lista slika	iv
Lista tabela.....	viii
Lista skraćenica i stranih pojmova.....	xii
I Predmet i problem istraživanja.....	1
II Ciljevi istraživanja	3
III Teorijske osnove	4
1. Organizacija proizvodnih sistema	4
1.1. Prilazi organizaciji proizvodnje u pogonu i njihove karakteristike	4
1.2. Metode kreiranja familija predmeta rada i grupa tehnoloških sistema	7
1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja u kreiranju virtuelnih proizvodnih ćelija	16
2. Pregled sistema planiranja i upravljanja klasičnim proizvodnim ćelijama.....	20
2.1. Prilaz upravljanju periodičnim serijama predmeta rada – PBC sistem.....	21
2.1.1. Određivanje dužine vremenskog perioda trajanja faza obrade ili montaže (P)	26
2.1.2. Određivanje broja faza obrade ili montaže (N).....	28
2.1.3. Određivanje odgovarajuće politike prijema porudžbina od strane kupaca, nabavke materijala i alata od dobavljača, rada sa podugovaračima i isporuke gotovih proizvoda kupcima.....	29
2.2. MRP sistem upravljanja proizvodnjom.....	30
2.2.1. Integracija MRP sistema i grupne tehnologije	33
2.3. JIT sistem upravljanja proizvodnjom.....	34
2.4. IIS-DZ sistem upravljanja proizvodnjom.....	38

2.5. Poređenje karakteristika sistema za planiranje i upravljanje proizvodnjom	41
3. Analiza prethodnih istraživanja prilaza planiranju i upravljanju virtuelnim proizvodnim ćelijama.....	44
4. Definisane hipoteze istraživanja	53
IV Metodologija istraživanja	54
1. Metode i tehnike istraživanja	54
2. Studije slučaja proizvodnih sistema	56
3. Ograničenja u sprovedenom istraživanju	57
V Modeli za planiranje i upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama	59
1. Planiranje procesa rada	60
1.1. Faza 1 - Prijem porudžbina	60
1.2. Faza 2 - Kreiranje grupa predmeta rada	60
1.3. Faza 3 - Kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija	60
1.4. Faza 4 - Postavljanje parametara sistema upravljanja periodičnim serijama i izrada terminskih planova	63
1.4.1. Postavljanje parametara sistema upravljanja periodičnim serijama.....	63
1.4.2. Izrada terminskih planova	67
1.5. Faza 5 - Simulacija.....	69
2. Upravljanje procesima rada.....	70
2.1. Faza 6 - Priprema, sprovođenje i kontrola procesa rada	70
2.2. Faza 7 - Analiza i podešavanje procesa rada	70
VI Istraživanje mogućnosti primene modela u realnim uslovima.....	71
1. Studija slučaja proizvodnje pločastog nameštaja (P=4800 minuta, N=1).....	71
1.1. Prijem porudžbina i kreiranje grupa predmeta rada	75
1.2. Kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija, postavljanje parametara sistema upravljanja periodičnim serijama i izrada terminskih planova	78
1.3. Simulacija.....	94
2. Studija slučaja proizvodnje priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema (P=9600 minuta, N>1).....	95

2.1. Prijem porudžbina i kreiranje grupa predmeta rada	99
2.2. Kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija, postavljanje parametara sistema upravljanja periodičnim serijama i izrada terminskih planova	102
2.3. Simulacija.....	127
VII Diskusija rezultata istraživanja	129
VIII Zaključak i pravci daljeg istraživačkog rada.....	144
IX Literatura	146
Prilozi	156
P1. Programski kod za kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija.....	156
P2. Studija slučaja 1 – redni postupak prelaska grupa predmeta rada (P=7100, N=1). 160	
P3. Studija slučaja 1 – paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (P=4800, N=1)	162
P4. Studija slučaja 1 – kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (P=4800, N=1) ...	164
P5. Studija slučaja 2 – redni postupak prelaska grupa predmeta rada (P=9600, N=2). 166	
P6. Studija slučaja 2 – paralelni postupak prelaska za grupu predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada u prvoj fazi obrade; paralelni postupak prelaska za grupe predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada u drugoj fazi obrade; (P=9600, N=2)	171
P7. Studija slučaja 2 – kombinovani postupak prelaska za grupu predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada u prvoj fazi obrade; kombinovani postupak prelaska za grupe predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada u drugoj fazi obrade; (P=9600, N=2)	176

Lista slika

Slika 1. Jednopredmetna protočna linija	5
Slika 2. Funkcionalna ili procesna organizacija proizvodnje.....	5
Slika 3. Organizacija proizvodnje prema principima grupne tehnologije (fizičko grupisanje tehnoloških sistema).....	6
Slika 4. Organizacija proizvodnje prema principima grupne tehnologije (logičko grupisanje tehnoloških sistema)	6
Slika 5. Struktura sistema klasifikacije (Zelenović 2003)	8
Slika 6. Klasifikacija predmeta rada na osnovu obrade rezanjem (Zelenović et al. 1986) ...	8
Slika 7. Algoritam APOPS prilaza (Zelenović et al. 1986)	10
Slika 8. Operacijske grupe (Zelenović 2003).....	10
Slika 9. Bipartitni graf (Kusiak 1990).....	14
Slika 10. Dekompozicija grafa (Kusiak 1990).....	14
Slika 11. PBC sistem (Burbidge 1985)	22
Slika 12. Osnovni PBC sistem	23
Slika 13. Struktura proizvoda – PBC sistem.....	24
Slika 14. Faze obrade i montaže u PBC sistemu.....	28
Slika 15. Faze u procesu proizvodnje dobijene analizom tokova materijala (Burbidge 1989)	29
Slika 16. Ulazne i izlazne informacije MRP sistema (Cecelja 2002)	30
Slika 17. Sastavnica MRP sistema	31
Slika 18. Moduli MRP II sistema (Hopp and Spearman 2000)	33
Slika 19. MRP i Kanban pristup (Hopp and Spearman 2000)	36
Slika 20. Moduli za upravljanje procesima rada (Zelenović 2005)	40
Slika 21. Grupni radni nalog (Zelenović 2004)	40
Slika 22. Ident karta (Zelenović 2004).....	41

Slika 23. Izvršavanje operativnog plana po intervalima (P - priprema, O- obrada, MS- međuskладиште, M- montaža, PL- plasman) (Zelenović 2004)	41
Slika 24. Klasifikacioni okvir za virtuelne proizvodne ćelije (Nomden, Slomp, and Suresh 2005)	49
Slika 25. Modeli planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama kao faze jednog algoritma	59
Slika 26. Primena Dijkstra algoritma	62
Slika 27. Odnos između dužine perioda P i broja faza obrade ili montaže.....	67
Slika 28. Terminiranje grupa delova u okviru sistema upravljanja periodičnim serijama..	68
Slika 29. Graf virtuelnih proizvodnih ćelija.....	78
Slika 30. Gant dijagram za redni postupak prelaska grupa predmeta rada	82
Slika 31. Gant dijagram za paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada	84
Slika 32. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (od tehnološkog sistema m1a do tehnološkog sistema m4a)	90
Slika 33. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (od tehnološkog sistema m5a do tehnološkog sistema m5b).....	91
Slika 34. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (od tehnološkog sistema m5c do tehnološkog sistema m8a)	92
Slika 35. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (od tehnološkog sistema m8b do tehnološkog sistema m8c).....	93
Slika 36. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (tehnološki sistem m9a).....	94
Slika 37. Graf virtuelnih proizvodnih ćelija za fazu obrade 1	103

Slika 38. Graf virtuelnih proizvodnih ćelija za fazu obrade 2	103
Slika 39. Gant dijagram – faza obrade 1 (redni postupak prelaska grupa predmeta rada)... 111	
Slika 40. Gant dijagram – faza obrade 2 (redni postupak prelaska grupa predmeta rada)... 114	
Slika 41. Gant dijagram – faza obrade 1 (paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada)	117
Slika 42. Gant dijagram– faza obrade 2 (paralelni postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada - od tehnološkog sistema m7a do tehnološkog sistema m7f).....	120
Slika 43. Gant dijagram– faza obrade 2 (paralelni postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada - od tehnološkog sistema m8a do tehnološkog sistema m13a).....	121
Slika 44. Gant dijagram– faza obrade 1 (kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada).....	123
Slika 45. Gant dijagram – faza obrade 2 (kombinovani postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada- od tehnološkog sistema m7a do tehnološkog sistema m7f)	126
Slika 46. Gant dijagram – faza obrade 2 (kombinovani postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada- od tehnološkog sistema m8a do tehnološkog sistema m13a).....	127
Slika 47. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P	131
Slika 48. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P	131
Slika 49. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P	132
Slika 50. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 1)	133
Slika 51. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 2)	133
Slika 52. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period $2 \cdot P$	134
Slika 53. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 1)	134

Slika 54. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 2)	135
Slika 55. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period 2·P	135
Slika 56. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 1)	136
Slika 57. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 2)	136
Slika 58. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period 2·P	137

Lista tabela

Tabela 1. Matrica učestalosti (Kusiak 1990).....	12
Tabela 2. Grupisanje tehnoloških sistema i delova odnosno predmeta rada (Kusiak 1990)	12
Tabela 3. Pregled istraživanja u oblasti virtuelnih proizvodnih ćelija i njihove implementacije u različitim nivoima strukture planskog i upravljačkog sistema (Nomden, Slomp, and Suresh 2005)	50
Tabela 4. Pregled tehnoloških sistema	72
Tabela 5. Matrica učestalosti.....	72
Tabela 6. Vremena za predmete rada na tehnološkim sistemima [sekund]	73
Tabela 7. Alternativna vremena za predmete rada na tehnološkim sistemima [sekund]	74
Tabela 8. Matrica rastojanja između tehnoloških sistema [metar].....	75
Tabela 9. Porudžbina za predmete rada u komadima	75
Tabela 10. Koeficijenti sličnosti za predmete rada	76
Tabela 11. Identifikovane grupe predmeta rada.....	77
Tabela 12. Početna konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija u proizvodnom sistemu...	79
Tabela 13. Grupe predmeta rada i virtuelne proizvodne ćelije	79
Tabela 14. Opterećenje tehnoloških sistema [minut]	79
Tabela 15. Ukupno opterećenje tehnoloških sistema	80
Tabela 16. Konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija	80
Tabela 17. Terminski plan proizvodnje (redni postupak prelaska grupa predmeta rada) ...	81
Tabela 18. Terminski plan proizvodnje (paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada).....	83
Tabela 19. Terminski plan proizvodnje (kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada).....	85
Tabela 20. Broj završenih grupa predmeta rada.....	94

Tabela 21. Vremena završetaka obrade grupa predmeta rada.....	95
Tabela 22. Pregled tehnoloških sistema	96
Tabela 23. Matrica učestalosti.....	96
Tabela 24. Vremena za predmete rada na tehnološkim sistemima [minut]	97
Tabela 25. Pregled rastojanja između tehnoloških sistema [metar]	99
Tabela 26. Porudžbina za predmete rada u komadima	99
Tabela 27. Koeficijenti sličnost između predmeta rada	100
Tabela 28. Identifikovane grupe predmeta rada.....	101
Tabela 29. Početna konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija u proizvodnom sistemu.	102
Tabela 30. Grupe predmeta rada i virtuelne proizvodne ćelije	104
Tabela 31. Opterećenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1 [minut].....	104
Tabela 32. Opterećenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2 [minut].....	106
Tabela 33. Ukupno opterećenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1.....	107
Tabela 34. Ukupno opterećenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2.....	107
Tabela 35. Konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija	108
Tabela 36. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 1 (redni postupak prelaska grupa predmeta rada).....	109
Tabela 37. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 2 (redni postupak prelaska grupa predmeta rada).....	112
Tabela 38. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 1 (paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada).....	115
Tabela 39. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 2 (paralelni postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada)	118
Tabela 40. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 1 (kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada)	121
Tabela 41. Terminski plan – faza obrade 2 (kombinovani postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada).....	124

Tabela 42. Broj završenih grupa predmeta rada.....	128
Tabela 43. Vremena završetaka obrade grupa predmeta rada.....	128
Tabela 44. Razlika u procentu iskorišćenja tehnoloških sistema kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada.....	132
Tabela 45. Razlika u procentu iskorišćenja tehnoloških sistema kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada (faza obrade 1).....	137
Tabela 46. Razlika u procentu iskorišćenja tehnoloških sistema kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada (faza obrade 2).....	138
Tabela 47. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu [minut].....	160
Tabela 48. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut].....	160
Tabela 49. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period P	161
Tabela 50. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]	161
Tabela 51. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu (vremena za grupu 1 su data po partiji) [minut].....	162
Tabela 52. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut].....	162
Tabela 53. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period P	163
Tabela 54. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]	163
Tabela 55. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu (vremena za grupu 1 su data po partiji) [minut].....	164
Tabela 56. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut].....	164
Tabela 57. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period P	165
Tabela 58. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]	165
Tabela 59. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu [minut].....	166

Tabela 60. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut]	167
Tabela 61. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period $2 \cdot P$	168
Tabela 62. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1 (za vremenski period P) ..	169
Tabela 63. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2 (za vremenski period P) ..	169
Tabela 64. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]	170
Tabela 65. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu (vremena za grupu 6 za operacije iz prve faze obrade i vremena za grupe 3, 4, 5 i 6 za operacije iz druge faze obrade su data po partiji) [minut]	171
Tabela 66. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut]	172
Tabela 67. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period $2 \cdot P$	173
Tabela 68. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1 (za vremenski period P) ..	174
Tabela 69. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2 (za vremenski period P) ..	174
Tabela 70. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]	175
Tabela 71. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu (vremena za grupu 6 za operacije iz prve faze obrade i vremena za grupe 3, 4, 5 i 6 za operacije iz druge faze obrade su data po partiji) [minut]	176
Tabela 72. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut]	177
Tabela 73. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period $2 \cdot P$	178
Tabela 74. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1 (za vremenski period P) ..	179
Tabela 75. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2 (za vremenski period P) ..	179
Tabela 76. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]	180

Lista skraćena i stranih pojmova

APOPS-08 - Automatizovani postupak za oblikovanje proizvodnih struktura.

BEA (Bond Energy Algorithm) - algoritam za kreiranje proizvodnih ćelija.

CI (Cluster Identification) – algoritam za kreiranje proizvodnih ćelija.

ERP (Enterprise Resource Planning) – planiranje resursa preduzeća.

IIS-DZ – Prilaz upravljanju procesima rada u proizvodnim sistemima razvijen na Departmanu za industrijsko inženjerstvo i menadžment.

JIT (Just-In-Time production) – proizvodnja upravo-na-vreme.

KANBAN – japanski naziv za ident karticu .

LEAN – proizvodna filozofija koja integriše niz upravljačkih praksi.

Manufacturing Cell – radna jedinica ili proizvodna ćelija.

MRP (Material Resource Planning) – planiranje resursa materijala.

MRP II (Manufacturing Resource Planning)- planiranje proizvodnih resursa.

PBC (Period Batch Control) – sistem upravljanja proizvodnjom putem periodičnih serija.

ROC (Rank Order Clustering) – algoritam za kreiranje proizvodnih ćelija.

I Predmet i problem istraživanja

Proizvodni sistem predstavlja skup osnovnih tehnoloških sistema i ostalih tehnički određenih informacionih i energetske struktura – elemenata radnih sistema, uređenih na način da obezbeđuju vršenje postavljene funkcije cilja i ostvarenje projektovanih efekata (Zelenović 2003). Proces rada proizvodnog sistema se naziva proizvodnim procesom koji predstavlja skup aktivnosti neophodnih za izvršenje postupka promene ulaznih u izlazne veličine (Zelenović 2003). Neposredan materijalni rezultat procesa rada proizvodnih sistema je proizvod (Zelenović 2003). U procesu rada proizvodnih sistema se uspostavljaju tri osnovna toka u kojima se javljaju radna mesta u kojima se izvode operacije rada odnosno postupci promene stanja (obrada, montaža merenje, rukovanje materijalom i upravljanje) (Zelenović 2003):

- tok materijala;
- tok energije i
- tok informacija.

Osnovni deo proizvodnog sistema koji je projektovan za izvođenje postupaka progresivne promene stanja predstavlja tehnološki sistem koji može biti (Zelenović 2003):

- obradni sistem za izvršavanje operacija obrade;
- montažni sistem za spajanje delova ili mešavina sastojaka razdvojivim ili nerazdvojivim vezama;
- sistem za rukovanje materijalom
 - transportni sistem za vršenje operacija prenošenja u procesu rada;
 - skladišni sistem za regulisanje tokova nejednakih vremena trajanja operacija rada, pojave stanja u otkazu sistema i redova čekanja;
- merni sistem za izdvajanje podataka o stanju – kvalitetu procesa rada i
- upravljački sistem za držanje procesa rada u granicama dozvoljenih odstupanja i podešavanje procesa rada.

Proizvodni sistemi nastaju i razvijaju se usled potrebe razmene sa okolinom odnosno zadovoljenja zahteva pojedinaca, organizacija i društva za proizvodima različite vrste i kvaliteta (Zelenović 2003). Potreba povećanja kompetitivnosti, nastala u današnjim uslovima privređivanja, je uticala na proizvodne sisteme da brzo i kontinualno

poboljšavaju svoje proizvodne procese kako bi se odgovorilo na promenljive zahteve tržišta, povećala produktivnost i kvalitet proizvoda. Problem složenosti odnosa preduzeće-okolina, izražen kod većine preduzeća, je povećan zbog procesa globalizacije i pojave ekonomskih promena. Preduzeća moraju da posluju u uslovima promenljivih zahteva tržišta, promenama u varijantnosti proizvoda, visokog broja specijalnih porudžbina i varijanti u procesima izrade. Poboljšanje proizvodnih procesa zahteva promene u proizvodnim sistemima primenom novih prilaza. Prilagođavanje proizvodnje predstavlja centralni elemenat datih napora i predmet je mnogih teorijskih i praktičnih istraživanja. Novi proizvodni koncept pod imenom virtuelna proizvodna ćelija se predlaže kao alternativa implementaciji tradicionalnih načina proizvodnje. Zadržavanjem procesnog razmeštaja tehnoloških sistema u pogonu, vrši se privremeno grupisanje raspoloživih proizvodnih resursa kako bi se realizovale prednosti vezane za organizaciju proizvodnje prema principima grupne tehnologije, a zadržala odgovarajuća fleksibilnost proizvodnog sistema.

Osnovni problem kojim se istraživanje u doktorskoj disertaciji bavi jeste kako planirati, organizovati i upravljati virtuelnim proizvodnim ćelijama.

Predmet istraživanja je identifikacija načina projektovanja virtuelnih proizvodnih ćelija i istraživanje mogućnosti planiranja i upravljanja procesima rada u datom obliku organizacije proizvodnog sistema.

U narednom poglavlju su postavljeni ciljevi istraživanja doktorske disertacije.

II Ciljevi istraživanja

U istraživanju će biti razvijeni modeli za planiranje i upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama koji predstavljaju novo rešenje u odnosu na postojeće prilaze planiranju i upravljanju procesima rada. Proizvodna preduzeća će na taj način dobiti alate za organizovanje svoje proizvodnje na način koji će iskoristiti fleksibilnost koja postoji kod procesnog načina organizacije proizvodnje i za smanjenje vremena trajanja ciklusa proizvodnje koji je karakteristika ćelijskog načina organizacije proizvodnje. Ovaj prilaz bi omogućio brzo prilagođavanje proizvodnog preduzeća promenama koje se dešavaju na tržištu.

Primena modela planiranja i upravljanja u različitim preduzećima bi omogućila poređenje načina implementacije virtuelnih proizvodnih ćelija u preduzećima iz iste, ali i iz različitih grana privrede.

Opšti cilj istraživanja jeste da se razviju modeli za planiranje i upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama.

Naučni cilj je da se da naučni opis modela za planiranje i upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama u preduzeću, da se naučno definišu i opišu parametri koji utiču na procese planiranja i upravljanja, zatim da se definišu preduslovi za uvođenje virtuelnih ćelija i pokažu mogućnosti njihovog razvoja.

Društveni cilj jeste da se razvijenim modelima obezbedi zadovoljenje potreba preduzeća da se odgovori na tržišne zahteve i da se kroz efikasno organizovanu proizvodnju poveća fleksibilnost u odnosu na sistem okoline konkretnog preduzeća. Rezultati istraživanja treba da prikažu mogućnosti planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama kao prilazom organizovanja proizvodnje u preduzeću.

U narednom poglavlju su date teorijske osnove organizacije proizvodnih sistema i odgovarajućih planskih i upravljačkih sistema i definisane su hipoteze istraživanja doktorske disertacije.

III Teorijske osnove

U prvom delu poglavlja se daje pregled različitih prilaza organizaciji proizvodnih sistema, odnosno objašnjeni su različiti prilazi organizovanja proizvodnog pogona, kao i njihove karakteristike. Uvodi se pojam virtuelna (logička) organizacija proizvodnih sistema i povezanost tog prilaza organizovanja sa sistemom za planiranje i upravljanje proizvodnjom. Takođe, u prvom delu se daje pregled metoda grupisanja predmeta rada i tehnoloških sistema kao i pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti virtuelnih proizvodnih ćelija. U drugom delu poglavlja se daje pregled prilaza planiranju i upravljanju klasičnim proizvodnim ćelijama. Treći deo poglavlja sadrži analizu prethodnih istraživanja prilaza planiranju i upravljanju virtuelnim proizvodnim ćelijama. Četvrti deo poglavlja sadrži definisane hipoteze istraživanja.

1. Organizacija proizvodnih sistema

1.1. Prilazi organizaciji proizvodnje u pogonu i njihove karakteristike

Tokom razvoja industrijske proizvodnje, nisu se razvijali samo tehnološki sistemi, energetske sistemi, transportna oprema, već i prilazi organizovanju proizvodnje u proizvodnom pogonu. Razvijeno je nekoliko različitih prilaza organizaciji proizvodnje:

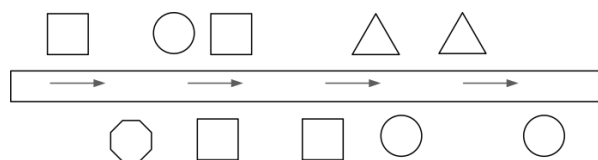
- organizacija proizvodnje putem jednopredmetnih protočnih linija (masovna proizvodnja);
- funkcionalna ili procesna organizacija proizvodnje i
- organizacija prema principima grupne tehnologije – proizvodnja u radnim jedinicama ili ćelijska organizacija (fizička i logička odnosno virtuelna).

Organizacija proizvodnje putem jednopredmetnih protočnih linija zahteva organizovanje tehnoloških sistema prema jednom proizvodu, što za rezultat ima manji nivo nedovršene proizvodnje, lako praćenje i nadzor tokova materijala. Ovaj prilaz organizaciji proizvodnih sistema se najčešće javlja kod masovne proizvodnje. Kada se primenjuje ovaj prilaz organizacije proizvodnih sistema, tada se u slučaju da se proizvodni program menja uvode dodatni tehnološki sistemi koji izazivaju dodatni trošak proizvodnje (na primer u slučajevima kada preduzeće uvodi nov proizvod koji se po tehnologiji izrade razlikuje od proizvoda iz postojećeg asortimana).

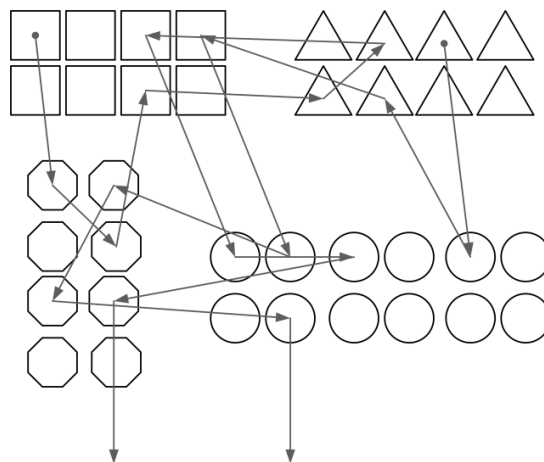
Funkcionalna ili procesna organizacija proizvodnje zahteva grupisanje tehnoloških sistema prema načinu obrade, odnosno prema procesima rada (struganje, glodanje itd.). Ovaj prilaz organizaciji proizvodnje karakterišu veće serije predmeta rada, kompleksni tokovi materijala i duga vremena rada. Kompleksnost tokova materijala se povećava u slučaju proširenja proizvodnog programa.

Organizacija proizvodnje prema principima grupne tehnologije zahteva da se predmeti rada grupišu primenom odgovarajućih kriterijumima sličnosti i da se tehnološki sistemi organizuju u radne jedinice odnosno proizvodne ćelije (*engl. Manufacturing Cell*). Grupisanje tehnoloških sistema može biti fizičko u slučaju da postoji razmeštanje tehnoloških sistema u pogonu i logičko (virtuelno) u slučaju da se ne vrši razmeštanje tehnoloških sistema u pogonu. Fizičko grupisanje tehnoloških sistema karakterišu jednostavni tokovi materijala, lako praćenje učinaka u procesu proizvodnje, male serije predmeta rada, kao i velika efikasnost u toku procesa rada. Izmenom proizvodnog programa može se javiti potreba za izmenom grupe tehnoloških sistema (proizvodne ćelije) u smislu da je potrebno ponovo grupisati tehnološke sisteme i vršiti njihov fizički razmeštaj, što dovodi do pojave neefikasnosti. Logičko (virtuelno) grupisanje teži da premosti postojeće probleme kombinovanjem procesne organizacije proizvodnje i organizacije proizvodnje prema principima grupne tehnologije.

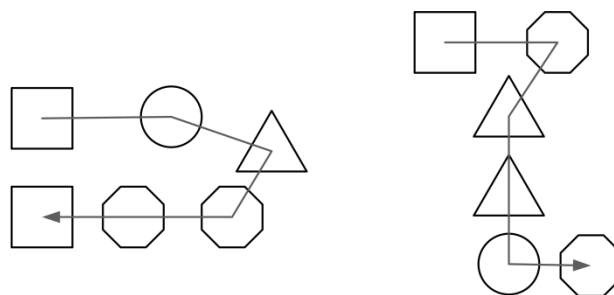
Različiti prilazi organizaciji proizvodnje su prikazani na slikama 1, 2, 3 i 4.



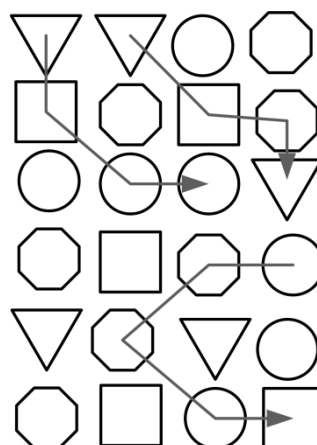
Slika 1. Jednopedmetna protočna linija



Slika 2. Funkcionalna ili procesna organizacija proizvodnje



Slika 3. Organizacija proizvodnje prema principima grupne tehnologije (fizičko grupisanje tehnoloških sistema)



Slika 4. Organizacija proizvodnje prema principima grupne tehnologije (logičko grupisanje tehnoloških sistema)

Organizovanje proizvodnje prema procesima rada (procesna ili funkcionalna organizacija) koji se obavljaju, ima svoje prednosti i nedostatke. Glavne prednosti se ogledaju u velikoj fleksibilnosti u pogledu tokova materijala i velikom stepenu iskorištenja tehnoloških sistema. Nedostatak predstavlja kompleksnost tokova materijala. Kompleksnost se ogleda u većim rastojanjima koje predmeti rada prelaze, povratnim tokovima materijala kao i u ukrštanju tokova. Česta je pojava dugih vremena čekanja, većih količina nedovršene proizvodnje, što za rezultat ima duže vreme trajanja ciklusa proizvodnje.

Uvođenje grupne tehnologije u proizvodnju je omogućilo grupisanje predmeta rada i tehnoloških sistema. Grupisanjem se omogućuje da se slični predmeti rada obrađuju na grupi tehnoloških sistema i tako ostvare prednosti u pogledu malih pripremno-završnih vremena i pojednostavljenih tokova materijala (Irani, Subramanian, and Allam 1999).

Razvoj i primena grupne tehnologije su doveli do značajnih ušteta u pogledu skraćanja ukupnog vremena potrebnog za proizvodnju predmeta rada. Dodatno, grupna tehnologija u velikoj meri definiše na koji način će se planirati proizvodnja a zatim i na koji način upravljati procesima rada. Prilaz planiranju i upravljanju tokovima materijala, energije i

informacija u proizvodnom sistemu zavisi od metoda grupisanja koje se koriste iz razloga što izbor određene metode grupisanja u velikoj meri utiče na raspored tehnoloških sistema u pogonu, kreiranje grupa predmeta rada, dužinu planskog perioda za proizvodnju, vreme trajanja ciklusa proizvodnje, nivo nedovršene proizvodnje, stepen iskorištenosti resursa, fleksibilnost u pogledu terminiranja itd. Predmetna oblast istraživanja je u domenu grupne tehnologije. Dalje biti obrađene metode kreiranja grupa tehnoloških sistema i grupa predmeta rada (delova ili proizvoda), čije je razumevanje neophodno za planiranje i upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama.

1.2. Metode kreiranja familija predmeta rada i grupa tehnoloških sistema

Grupisanje predmeta rada je moguće uraditi:

- vizuelnom metodom;
- klasifikacijom i kodiranjem predmeta rada prema njihovim karakteristikama i
- utvrđivanjem sličnosti predmeta rada prema redosledu operacija rada.

Vizuelna metoda omogućuje kreiranje grupa predmeta rada vizuelnim pregledom predmeta rada ili njihovih tehničkih crteža i može se koristiti kada je broj predmeta rada mali (Irani, Subramanian, and Allam 1999).

Kodiranje i grupisanje predmeta rada prema njihovim karakteristikama se naziva još i grupisanje predmeta rada prema sistemu kodiranja i klasifikacije. Svaki predmet rada poseduje odgovarajuće attribute koji ga opisuju, poput:

- vrste materijala;
- dimenzija;
- težine;
- oblika;
- žljebova i
- rupa.

Na osnovu pripadajućih atributa svaki predmet rada dobija svoj klasifikacioni broj. Grupe predmeta rada se kreiraju od predmeta rada sa sličnim klasifikacionim brojem. Struktura sistema klasifikacije i primer klasifikovanja na osnovu obrade rezanjem su prikazani na slikama 5 i 6 respektivno.

1 OSNOVNI ČINIOCI PREDUZEĆA		2 POSTUPCI RADA		14 POVRŠINSKA ZAŠTITA	
0	Rezervisano	0	Rezervisano	0	Rezervisano
1	Predmeti rada	1	Materijali	1	Bojeno osnovnom bojom
2	Sredstva rada	2	Delovi dobijeni livenjem	2	Bojeno završnom bojom
3	Učesnici u procesu rada	3	Delovi dobijeni deformisanjem	3	Niklovano
4	Organizacione jedinice	4	Delovi dobijeni rezanjem	4	Hromirano
5	Poslovni partneri	5	Delovi iz kooperacije i trgovine	5	Cinkovano
6	Građevinski objekti i instalacije	6	Rezervni delovi	6	Brunirano
7	Rezervisano	7	Podsklopovi i sklopovi	7	Eloksirano
8	Rezervisano	8	Proizvodi	8	Rezervisano
9	Ostali činioeci	9		9	Ostale vrste zaštite

Slika 5. Struktura sistema klasifikacije (Zelenović 2003)

polje obeležje	OSNOVNE GRUPE ČINILACA		NAČIN DOBLJANJA ČINILACA		OSNOVNA PODELA		ODNOS OSNOVNIH DIMENZIJA		OSNOVNA DIMENZIJA		OBLIK OSNOVNE SPOLJAŠNJE POVRŠINE		OBLIK OSNOVNE UNUTRAŠNJE POVRŠINE		POSEBNE SPOLJAŠNJE POVRŠINE		POSEBNE UNUTRAŠNJE POVRŠINE		VRSTA MATERIJALA		OBLIK POLUFABRIKATA		VRSTA TERMIČKE OBRADJE		KVALITET POVRŠINA		POVRŠINSKA ZAŠTITA	
	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
0			OSVRTNI, SIMETRIČNI, BEZ OZUBLJENJA	L/D<0,1	D<6	Glatke		Bez		Bez										Čelici sa negarantovanim sastavom	Šipke okrugle	Bez termičke obrade	N12 50 mm	Bez zaštite				
1	PREDMETI RADA			0,1<L/D<0,5	6<D<10	Stepenaste sa jedne strane		Središna gnezda		Glodane površine									Aksijalne rupe ili otvori bez podla		Čelici usijenični	Šipke profile	Kaljenje i otpuštanje	N111 25 mm	Bojenje osnovnom bojom			
2				0,5<L/D<1	10<D<16	Stepenaste sa obe strane		Glatke ili stepenaste sa jedne strane		Utiskivane površine									Aksijalne rupe ili otvori sa podelom		Čelici legirani	Cevi	Cementacija	N10 12,5 mm	Lakiranje			
3				1<L/D<2	16<D<25	1 + konus		Stepenaste sa obe strane		Narečkane površine									Radijalne rupe ili otvori		Čelici za automate	Profili I,T,L,U	Indukciono kaljenje	N9 6,3 mm	Niklovanje			
4		DELOVI IZRABENI REZANJEM		2<L/D<5	25<D<50	2 + konus		1 + konus		Navoj valjan									Kombinacije 1, 2 i 3		Laki metali	Limovi, trake, ploče	Žarenje	N8 3,15 mm	Hromiranje			
5				5<L/D<10	50>D>100	1,2,3,4 + profilne površine		2 + konus		Ozubljenje valjano									Kose rupe ili otvori		Obojeni metali	Odlivci	Normalizacija	N7 1,6 mm	Cinkovanje			
6				L/D>10	100<D<150	0,1,3 + navoj		1,2,3,4 ili 5 + navoj		1 + 2									Rupe ili otvori sa navojem		Plastični materijali	Otkovci i otpresci	Nitiranje	N6 0,8 mm	Bruniranje			
7					D>150	2,4,5 + navoj		1-6 + uzdužni žlebovi		3 + 4									Polygonalni otvori		Bakelit	Zavareni preparati	Alitiranje	N5 0,4 mm	Eloksiranje			
8						0-6 + puž, brušen															Tekstolit	Sklopovi		N4 0,2 mm	Zaujlivanje			
9						0-6 + puž, valjan															Ostali materijali	Ostalo		N3 0,1 mm	5 + 2			

Slika 6. Klasifikacija predmeta rada na osnovu obrade rezanjem (Zelenović et al. 1986)

Jedan od prilaza grupisanju na osnovu sistema klasifikacije i kodiranja jeste i APOPS koji je dat u knjizi (Zelenović et al. 1986). Koraci izvršavanja algoritma APOPS prilaza su prikazani na slici 7. APOPS prilaz omogućuje kreiranje radnih jedinica ili proizvodnih ćelija koristeći informacije o klasifikacionom broju predmeta rada, potrebnim vremenima rada i efektivnom

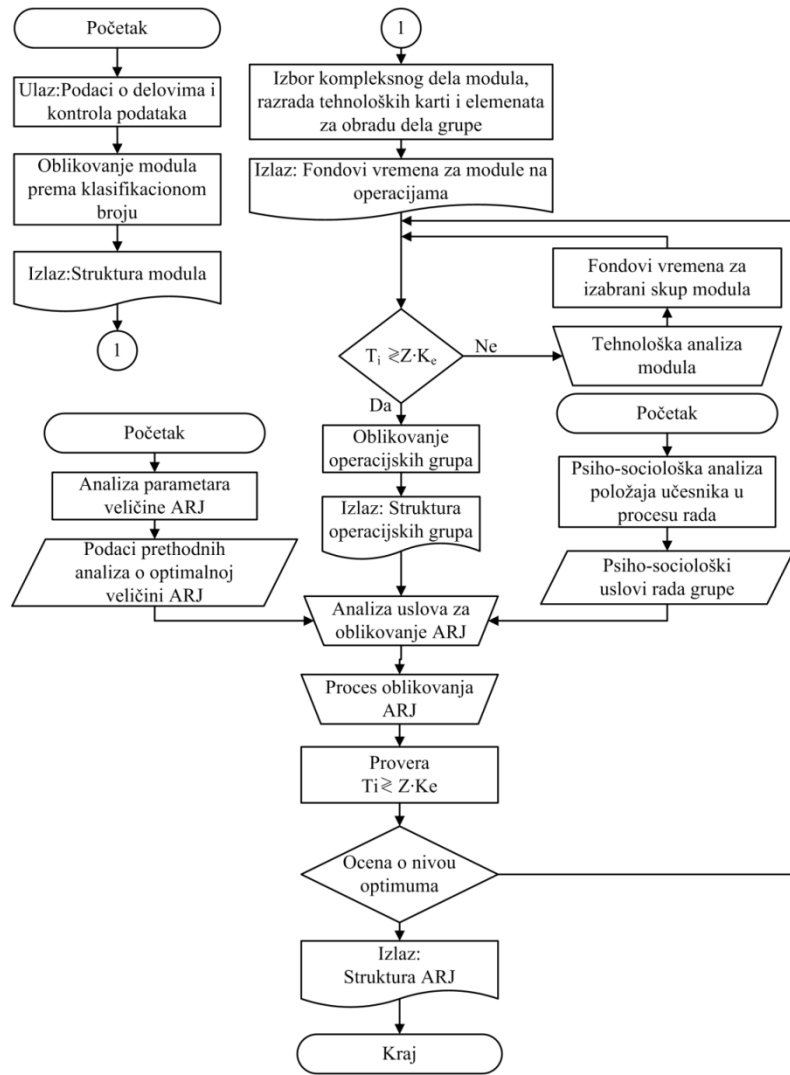
kapacitetu tehnoloških sistema. Delovi (predmeti rada) se grupišu u module prema klasifikacionom broju i zatim se kreira tehnološki postupak za kompleksni deo iz modula koji postaje osnova za kreiranje operacijske grupe. Tehnološki sistemi na kojima se obrađuju predmeti rada imaju odgovarajući kapacitet. Analizom vremenskih opterećenja kapaciteta tehnoloških sistema, formiraju se operacijske grupe koje se obrađuju na istom tehnološkom sistemu i one postaju osnova za kreiranje radnih jedinica, što je prikazano na slici 8.

Utvrđivanje sličnosti predmeta rada prema operacijama rada zahteva poznavanje redosleda operacija rada za određeni predmet rada. Najpoznatija metoda za grupisanje predmeta rada i tehnoloških sistema upotrebom kriterijuma sličnosti operacija rada je metoda engleskog inženjera i profesora Džona L. Burbidgea. Ova metoda se naziva metodom analize proizvodnih tokova i prikazana je u radu (Burbidge 1971) i u knjizi (Burbidge 1989). Metoda analize proizvodnih tokova je poznatija kao PFA metoda (*engl. Production Flow Analysis*). Prema ovoj metodi neophodno je izvršiti analizu tokova kroz nekoliko koraka (Burbidge 1989):

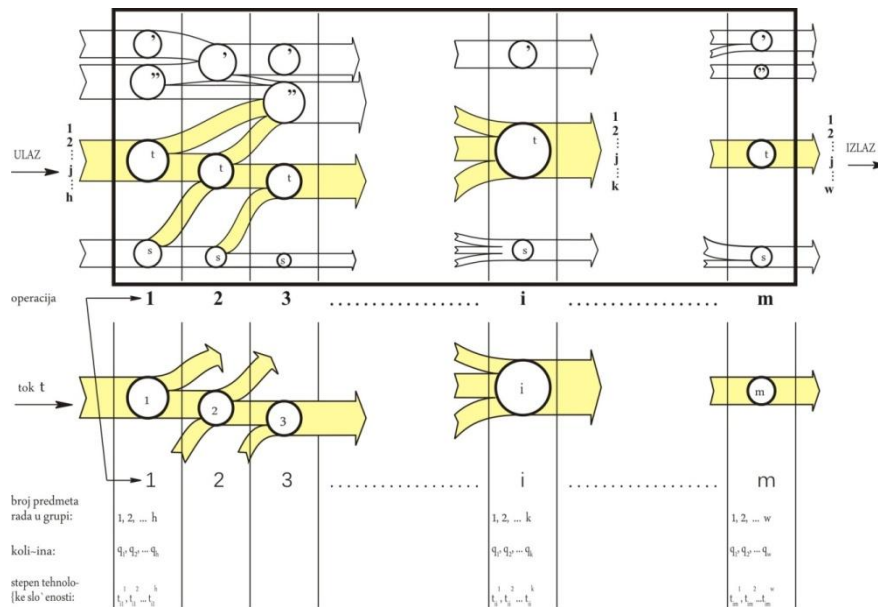
- analiza tokova materijala na nivou preduzeća;
- analiza tokova materijala na nivou proizvodne funkcije preduzeća;
- grupna analiza - kreiranje modula;
- grupna analiza - kreiranje grupa;
- analiza rasporeda tehnoloških sistema i
- analiza alata za obradu.

Analiza tokova materijala na nivou preduzeća se primenjuje ukoliko preduzeće ima više fabrika i koristi se za analizu i uprošćavanje tokova materijala u celokupnom poslovnom sistemu preduzeća. Analiza tokova se primenjuje najčešće u većim preduzećima gde se pored tokova materijala između fabrika preduzeća vrši i analiza tokova između fabrika i postojećih podugovarača. Na nivou proizvodne funkcije preduzeća, analiza tokova materijala se vrši između proizvodnih odeljenja (na primer zasebna odeljenja za livenje, zavarivanje, prese, obradne centre). Ukoliko su preduzeća po veličini mala ili srednja, prethodne dve analize nisu obavezne jer za njih možda ne postoji potreba.

Grupna analiza počinje kreiranjem modula. Modul se sastoji iz manje grupe predmeta rada i tehnoloških sistema potrebnih za njihovu obradu. Moduli se kasnije spajaju u veće grupe. Moduli se kreiraju korišćenjem podataka o broju različitih predmeta rada koji se obrađuju na odgovarajućem tehnološkom sistemu kao i o broju tehnoloških sistema istog tipa (Burbidge 1989). Takođe se koristi i matrica učestalosti (matrica predmeti rada-tehnološki sistemi) radi boljeg pregleda.



Slika 7. Algoritam APOPS prilaza (Zelenović et al. 1986)



Slika 8. Operacijske grupe (Zelenović 2003)

Kreiranje grupa iz modula predstavlja drugi deo grupne analize. Kreiranje grupa se zasniva na zadovoljenju cilja da svi predmeti rada moraju biti kompletirani upotrebom odgovarajuće grupe tehnoloških sistema (Burbidge 1989). Kriterijumi za formiranje jesu da grupe predmeta rada koriste iste tehnološke sisteme, da se izrađuju od istog materijala i da imaju isti osnovni oblik i funkciju (Burbidge 1989). Korisno je izvršiti analizu opterećenja kapaciteta tehnoloških sistema kako bi se mogle izvršiti izmene pre fizičkog razmeštaja tehnoloških sistema u grupe.

Analiza rasporeda tehnoloških sistema se vrši analizom tokova materijala u formiranim grupama za svaku kreiranu grupu posebno (Burbidge 1989). Ova analiza pomaže u povećanju efikasnosti grupe.

Analiza alata za cilj ima smanjenje pripremno-završnih vremena. Unutar grupe je moguće izvršiti dodatno grupisanje predmeta rada kako bi se isti alat upotrebio za obradu što više predmeta rada (Burbidge 1989).

Barbidžova metoda analize proizvodnih tokova je u velikoj meri zasnovana na dugogodišnjim praktičnim iskustvima u realnim operativnim uslovima.

Pored ove metode postoji još nekoliko različitih metoda za grupisanje koje su pronađene u literaturi o grupnoj tehnologiji, a koje se mogu podeliti u nekoliko grupa:

- matrične metode;
- metode koeficijenata sličnosti;
- algoritamske metode (ROC algoritam, BEA algoritam, CI algoritam) ;
- metode matematičkog programiranja;
- p -medijan model;
- generalizovani p -median model;
- kvadratični programski model;
- metode primene grafova (bipartitni graf, tranzicioni graf, granični graf) i
- metode zasnovane na primeni veštačke inteligencije.

Matrične metode se zasnivaju na već pomenutoj matrici učestalosti koja prikazuje predmete rada i tehnološke sisteme. Primer takve jedne matrice je dat u tabeli 1, gde su u redovima prikazani tehnološki sistemi označeni sa m_{xy} , a u kolonama delovi odnosno predmeti rada označeni sa d_{xy} . Ukoliko se predmet rada obrađuje na određenom tehnološkom sistemu, u polje tabele koje se nalazi u preseku kolone posmatranog predmeta rada i reda posmatranog tehnološkog sistema se upisuje broj 1. Osnovni cilj jeste da se primenom različitih

algoritama identifikuju familije predmeta rada i grupe tehnoloških sistema (kao kod PFA metode), što je prikazano u tabeli 2.

Tabela 1. Matrica učestalosti (Kusiak 1990)

	d 01	d 02	d 03	d 04	d 05
m 01		1		1	1
m 02	1		1		
m 03		1		1	
m 04	1		1		

Tabela 2. Grupisanje tehnoloških sistema i delova odnosno predmeta rada (Kusiak 1990)

	d 01	d 03	d 02	d 04	d 05
m 01			1	1	1
m 03			1	1	
m 02	1	1			
m 04	1	1			

Metode koeficijenta sličnosti se zasnivaju na izračunavanju koeficijenta sličnosti između dva tehnološka sistema. Koeficijent sličnosti se može računati primenom različitih postupaka koji su prikazani u radovima (McAuley 1972), (Witte 1980) i (Seifoddini and Wolfe 1986). Jednom kada se koeficijenti utvrde potrebno je utvrditi procentualnu vrednost sličnosti, na primer 70% sličnosti, koja će se koristiti kao kriterijum za grupisanje tehnoloških sistema. Sličan postupak utvrđivanja koeficijenta sličnosti između predmeta rada je dat u knjizi (Irani, Subramanian, and Allam 1999), gde koeficijent sličnosti uzima vrednost u rasponu od 0 do 1.

ROC algoritam (*engl. Rank-Order Clustering*), koji je objavljen u radu (King 1980), predstavlja algoritam koji kreće od matrice učestalosti i svakom redu iz matrice se dodeljuje težinski koeficijent, nakon čega se vrši sortiranje redova, a zatim se postupak ponavlja i za kolone. Postupak se ponavlja sve dok se pozicije elemenata u matrici menjaju.

BEA algoritam (*engl. Bond-Energy Algorithm*), koji je objavljen u radu (McCormick, Schweitzer, and White 1972), predstavlja algoritam u kojem se grupisanje vrši prema meri efektivnosti koja je definisana obrascem. Za sve kolone se vrši proračun mere efektivnosti i shodno tome vrši se pomeranje kolona, a zatim se postupak ponavlja i za redove matrice.

CI algoritam (*engl. Cluster Identification Algorithm*), koji je objavljen u radu (Kusiak and Chow 1987a), predstavlja algoritam omogućuje donosiocu odluke da odabere bilo koji red iz kolone matrice učestalosti kroz koji će se povući horizontalna prava linija, a zatim se za

svaki uneti broj 1 iz podvučenog reda povlači vertikalna prava linija. Ovaj postupak se ponavlja sve dokle ima slobodnih unosa broja 1. Kada više nema slobodnih unosa broja 1 vrši se uklanjanje prekrivenih unosa i formira se nova manja matrica od preostalih unosa kada se postupak ponavlja.

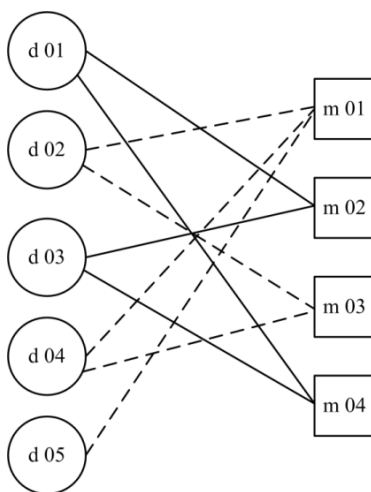
Metode matematičkog programiranja se zasnivaju na izračunavanju mere različitosti između predmeta rada. Postoje različiti postupci izračunavanja mere različitosti između predmeta rada koji su objavljeni u radovima (Lee 1981) i (Kusiak and Chow 1987b) i u knjigama (Arthanari and Dodge 1993) i (Kusiak 1990). Prva metoda matematičkog programiranja je p -medijan model koji se koristi da grupiše n predmeta rada u p grupa (Kusiak 1990). Osnovni cilj metode jeste minimizacija ukupne mere različitosti između predmeta rada, pri čemu je potrebno držati se ograničenja da svaki predmet rada može pripadati isključivo jednoj grupi i da svaki predmet rada može pripadati grupi samo kada je ona formirana. Takođe, se svaki predmet rada se može obrađivati isključivo na jednoj grupi tehnoloških sistema.

Generalizovani p -medijan model predstavlja izmenu osnovnog p -medijan modela, omogućavajući razmatranje obrade jednog predmeta rada na više grupa tehnoloških sistema (Kusiak and Chow 1987b). U model se uključuju i proizvodni troškovi koji se vezuju za grupe tehnoloških sistema (Kusiak and Chow 1987b). Za slučajeve ograničenog broja familija predmeta rada i njihove ograničene veličine razvijen je kvadratični programski model koji je prikazan u radu (Kusiak, Vannelli, and Kumar 1986).

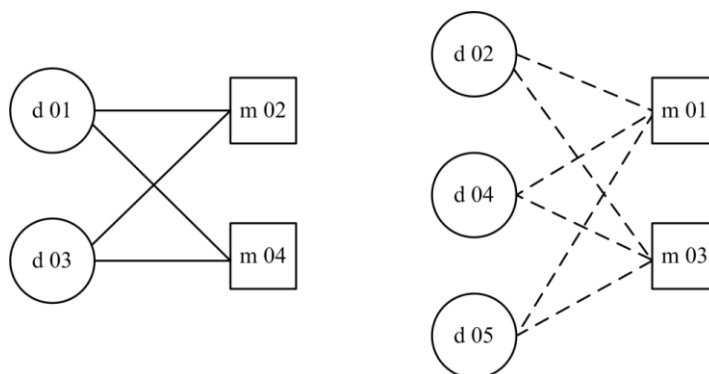
Metode grafova prikazuju elemente matrice učestalosti kroz čvorove grafa i grane grafa odnosno veze između čvorova. Kod bipartitnog grafa jedan skup čvorova grafa se koristi za reprezentaciju predmeta rada a drugi skup čvorova grafa za reprezentaciju tehnoloških sistema. Prikaz početnog grafa je dat na slici 9. Početni graf se može dekomponovati na manje grafove čime se vrši grupisanje (slika 10).

Za razliku od bipartitnog grafa, kod tranzicionih grafova predmeti rada se reprezentuju kao čvorovi grafa, a tehnološki sistemi kao veze između čvorova. Tranzicioni grafovi su pogodni za otkrivanje uskih grla u proizvodnom procesu (Kusiak 1990). Granični grafovi se sastoje iz niza bipartitnih grafova, gde na svakom hijerarhijskom nivou čvorovi predstavljaju tehnološke sisteme ili delove (Kusiak 1990). Upotreba grafova omogućuje, pored prezentacije proizvodnog sistema kao skupa čvorova koji su međusobno povezani granama grafa, primenu različitih algoritama i metoda za rešavanje različitih problema.

Metoda bojenja grafa se upotrebljava za kreiranje proizvodnih ćelija (radnih jedinica) i ona je prikazana u radu (Ribeiro 2010). Algoritmi služe uglavnom za pretraživanje na primer najkraće putanje između dva zadata čvora grafa, poput Dijkstra algoritma (Dijkstra 1959).



Slika 9. Bipartitni graf (Kusiak 1990)



Slika 10. Dekompozicija grafa (Kusiak 1990)

U poslednje vreme primetna je upotreba veštačke inteligencije radi rešavanja složenih problema, iz razloga što razvoj računara omogućuje složene proračune i kreiranje rešenja u kratkom vremenskom periodu. Rešenja ne moraju uvek biti optimalna, ali mogu biti blizu optimuma. Metode se uglavnom zasnivaju na pretraživanju određenog skupa rešenja i izboru najboljeg rešenja u odnosu na postavljenu funkciju cilja i postavljena ograničenja. Svako rešenje se može odbaciti ili prihvatiti uz odgovarajući stepen verovatnoće. Način na koji se ovaj postupak izvršava zavisi od metode koja se primenjuje. U metode veštačke inteligencije spadaju:

- genetski algoritmi;
- simulirano kaljenje;
- optimizacija kolonijom mrava i
- tabu pretraga.

Genetski algoritmi vrše optimizaciju rešenja nekog problema imitacijom prirodnog sistema evolucije, kao što je prikazano u knjizi (Holland 1992). Sistem evolucije se imitira primenom različitih operacija nad skupom rešenja sve dok se ne dođe do optimalnog rešenja problema. Problem se predstavlja funkcijom cilja koja služi kao kriterijum za ocenu rešenja. Skup rešenja se naziva populacija u kojoj svako rešenje predstavlja jednu jedinku. Iznalaženje optimalnog rešenja se vrši kroz iteracije koje se nazivaju generacije. U svakoj generaciji populacija jedinki odbacuje slabe jedinke i koristi jake jedinke kako bi generisala nove radi obnavljanja. Kreiranje novih jedinki se vrši ukrštanjem, mutacijom i rekombinacijom genoma jedinki. Primena genetskih algoritama za rešavanje problema formiranja i rekonfigurisanja proizvodnih ćelija je objavljena u radovima (Onwubolu and Mutingi 2001), (Mahdavi et al. 2009) i (Rezazadeh, Mahini, and Zarei 2011). Primena genetskih algoritama za rešavanje problema terminiranja poslova u proizvodnom sistemu je prikazana u radovima (Kesen, Das, and Güngör 2010), (Gu et al. 2010) i (Chen et al. 2012).

Simulirano kaljenje predstavlja metodu koja kreće od jednog početnog rešenja iz kojeg se kreiraju susedna rešenja. Nakon toga se vrši izbor najboljeg rešenja između početnog i kreiranih susednih rešenja. Moguće je, u odgovarajućem slučaju, prihvatiti i lošije rešenje uz statističku verovatnoću da će iz njega nastati neko bolje susedno rešenje. Ovime se izbegava kreiranje lokalnog optimuma (minimum ili maksimum neke funkcije) i dolazi se do globalnog optimuma. Primena simuliranog kaljenja u grupnoj tehnologiji je data u radovima (Irani, Subramanian, and Allam 1999) i (Baykasoglu 2003).

Optimizacija kolonijom mrava se odnosi na matematičku reprezentaciju kretanja mravlje kolonije u cilju pronalaženja najkraće putanje (Dorigo, Maniezzo, and Colorni 1996). Kolonije mrava funkcionišu na način da pronalaze najkraće putanje do izvora hrane ostavljanjem traga feromona. Mravi iz kolonije prate trag feromona ukoliko je on jak ili ga u suprotnom ne prate. Jačina traga feromona predstavlja kvalitet rešenja posmatranog problema. Primene optimizacije kolonijom mrava u proizvodnim sistemima mogu da se odnose na:

- prilagođavanje pripremno-završnih vremena, prikazano u radu (Liao, Tsai, and Chao 2011);
- uravnoteženje opterećenja kapaciteta, prikazano u radu (Keskinturk, Yildirim, and Barut 2012);
- alokaciju resursa, prikazanu u radu (Yin and Wang 2006);

- odabir alata i alokaciju operacija, prikazane u radu (Chan and Swarnkar 2006);
- problem terminiranja, prikazano u radu (Rossi and Dini 2007) i
- optimizaciju kod fizičkih i virtuelnih (logičkih) proizvodnih ćelija, prikazano u radovima (Solimanpur, Vrat, and Shankar 2004) i (Kesen et al. 2009).

Tabu pretraga je metoda gde se u proces pretraživanja rešenja uključuju atributi koji karakterizuju rešenja po kvalitetu. U zavisnosti od kvaliteta rešenja ono može biti ponovo uključeno u pretragu ili zabranjeno (tabu) za pretraživanje. Primena u okviru grupne tehnologije je data u radu (Hamedi et al. 2012b).

Imajući u vidu prezentovane metode, u nastavku je dat pregled istraživanja u oblasti kreiranja virtuelnih proizvodnih ćelija, zajedno sa poređenjem performansi virtuelnih proizvodnih ćelija u odnosu na ostale načine organizacije proizvodnje.

1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja u kreiranju virtuelnih proizvodnih ćelija

Virtuelna proizvodna ćelija se može definisati kao mehanizam upravljanja proizvodnjom koji omogućuje dodelu proizvodnih resursa za proizvodnju grupa predmeta rada na isti način kao što se u računaru dodeljuje memorija za obavljanje određenih zadataka (McLean, Bloom, and Hopp 1982). Virtuelna proizvodna ćelija predstavlja proširenje koncepta klasičnih proizvodnih ćelija u smislu da se različitim grupama predmeta rada dodeljuju tehnološki sistemi koji se vremenski dele između tih grupa predmeta rada (McLean, Bloom, and Hopp 1982).

Virtuelna proizvodna ćelija se može definisati i kao primena grupne tehnologije u proizvodnom sistemu gde tehnološki sistemi ostaju na svojim pozicijama (kao kod procesne organizacije), pri čemu ćelije postoje samo u okviru sistema za planiranje i upravljanje proizvodnjom (Hyer and Brown 1999).

Virtuelna proizvodna ćelija se može definisati i kao grupisanje poslova, predmeta rada, tehnoloških sistema i učesnika u procesima rada u upravljačkom sistemu procesa proizvodnje u preduzeću, pri čemu se ovo grupisanje ne zahteva fizičko preuređenje strukture proizvodnog pogona (Nomden and Slomp 2003).

Primenom virtuelnih ćelija mala i srednja preduzeća mogu primenjivati grupnu tehnologiju u svojim proizvodnim procesima uz male troškove, na primer bez potrebe za preuređenjem proizvodnog pogona ukoliko za to ne postoje mogućnosti, u smislu vremena i prostora potrebnog za rekonfiguraciju (Suresh and Slomp 2005).

Prvi rad objavljen na temu virtuelnih proizvodnih ćelija je rad (Altom 1978). Rad prikazuje primenu sistema klasifikacije i kodiranja za grupisanje predmeta rada, a zatim dodelu grupa predmeta rada odgovarajućim tehnološkim sistemima koji su ostali na svojim mestima. Prvo istraživanje koje definiše pojam virtuelne ćelije i govori o većem stepenu fleksibilnosti u odnosu na klasične (fizički razmeštene) ćelije je objavljeno u radu (McLean, Bloom, and Hopp 1982).

U radu (Hamedi et al. 2012a) je dat pregled u nastavku opisanih istraživanja koja se bave kreiranjem virtuelnih proizvodnih ćelija.

U doktorskoj disertaciji (Drolet 1989) dat je prikaz prednosti virtuelnih ćelija u odnosu na klasične fizičke ćelije, iako autor konstatuje da se povećavaju zahtevi za upravljanjem u okviru sistema. Virtuelne proizvodne ćelije se kreiraju grupisanjem tehnoloških sistema uz poštovanje principa minimuma rastojanja između sukcesivnih tehnoloških sistema.

U radu (Irani, Cavalier, and Cohen 1993) autori koriste prilaz integracije grupisanja tehnoloških sistema sa procesnim razmeštajem (zanemarujući formiranje grupa predmeta rada), pri čemu se smanjuje potreba za duplikacijom tehnoloških sistema.

U radovima (Kannan and Ghosh 1996a) i (Kannan and Ghosh 1996b) se prikazuju istraživanja u kojima se putem simulacije upoređuju performanse kreiranih virtuelnih proizvodnih ćelija u odnosu na fizičke proizvodne ćelije i u odnosu na organizaciju razmeštaja tehnoloških sistema prema procesima rada u proizvodnom pogonu. Eksperimenti pokazuju da kreirane virtuelne proizvodne ćelije daju dobre performanse u promenljivim uslovima koji se mogu javiti u proizvodnji (na primer, promene u pripremno-završnim vremenima, uvođenje novog proizvoda itd.) i da daju bolje rezultate nego u slučaju proizvodnje organizovane putem fizičkih proizvodnih ćelija. U radu (Kannan 1997) se prezentuje i fleksibilnost virtuelnih proizvodnih ćelija u odnosu na promene u broju i veličini grupa predmeta rada odnosno delova.

U radu (Subash, Nandurkar, and Thomas 2000) autori prezentuju algoritam za formiranje virtuelnih proizvodnih ćelija koji se zasniva na već pomenutom ROC algoritmu. Algoritam je primenljiv na mala i srednja preduzeća.

Račev u radu (Ratchev 2001) daje prikaz metodologije za formiranje virtuelnih proizvodnih ćelija u četiri koraka:

- analiza zahteva za proizvodnjom i kreiranje procesnih alternativa;
- definisanje granica mogućnosti virtuelnih ćelija;

- odabir alata i
- evaluacija sistema.

Metodologija omogućuje dinamičko kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija u odnosu na obradne zahteve i postojeće proizvodne kapacitete.

Sarker i Li u radu (Sarker and Li 2001) prikazuju istraživanje u kojem se kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija vrši izborom tehnoloških sistema prema najkraćem vremenu obrade, pri čemu se u obzir uzimaju i alternativne mogućnosti poput putanja i obradnih vremena.

U radu (Mak and Wang 2002) autori prikazuju matematički model za formulisanje strategija za formiranje virtuelnih proizvodnih ćelija i kreiranje terminskih planova.

U radu (Saad, Baykasoglu, and Gindy 2002) autori prikazuju poboljšanje performansi procesa rada prilikom rekonfigurisanja proizvodnog sistema iz klasične ćelijske organizacije u virtuelnu.

Bajkasoglu u radu (Baykasoglu 2003) prikazuje upotrebu simuliranog kaljenja za kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija. Autor je izvršio testiranje na studiji slučaja sa realnim podacima iz proizvodnje.

Ko i Egbelu u radu (Ko and Egbelu 2003) koriste princip deljenja tehnoloških sistema za proizvodnju grupa predmeta rada prilikom kreiranja virtuelnih proizvodnih ćelija. Različite virtuelne proizvodne ćelije mogu deliti iste tehnološke sisteme i jedan tehnološki sistem može služiti za obradu više različitih grupa predmeta rada.

Nomden i Slomp u radu (Nomden and Slomp 2003) prikazuju istraživanje primene virtuelnih proizvodnih ćelija nad različitim rasporedima tehnoloških sistema u proizvodnim pogonima.

U radu (Mak, Lau, and Wang 2005) je prikazana metodologija zasnovana na genetskim algoritmima za rešavanje problema kreiranja virtuelnih proizvodnih ćelija i terminiranja poslova.

U radu (Slomp, Chowdary, and Suresh 2005) autori daju prilaz kreiranju virtuelnih proizvodnih ćelija za odgovarajući utvrđeni vremenski period (npr. nedelju dana) kako bi se efikasno odgovorilo na promenljive zahteve kupaca. Prilaz daje matematički model za alokaciju poslova i tehnoloških sistema radi kreiranja virtuelnih proizvodnih ćelija a zatim i alokaciju učesnika u procesima rada.

U radu (Suresh and Slomp 2005) autori razmatraju performanse klasičnih proizvodnih ćelija, virtuelnih proizvodnih ćelija i proizvodnih linija u slučaju kada postoje ograničenja u vidu raspoloživih resursa tehnoloških sistema i raspoloživih resursa učesnika u procesima rada. Autori zaključuju da u odgovarajućim slučajevima, virtuelne proizvodne ćelije imaju prednost u odnosu na ostale načine organizovanja.

U radu (Nomden, Slomp, and Suresh 2005) autori razmatraju dosadašnja istraživanja iz oblasti virtuelnih proizvodnih ćelija i zaključuju da su virtuelne proizvodne ćelije koncept planiranja i upravljanja proizvodnjom kao i da je potrebno više empirijskih istraživanja, simulacionih eksperimenata i analize procesa rada.

U radu (Fung et al. 2006) autori prikazuju višefaznu metodologiju za odabir odgovarajućih resursa za formiranje virtuelnih proizvodnih ćelija. U prvoj fazi vrši proračun potrebnih kapaciteta za proizvodnju radi izbora odgovarajućih proizvodnih resursa. U sledećoj fazi se vrši kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija uzimajući u obzir deljenje resursa i vremensko preklapanje proizvodnih operacija nad odabranim proizvodnim resursima.

U radu (Mak et al. 2007) autori razvijaju algoritam za kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija zasnovan na optimizaciji kolonije mrava. Algoritam omogućuje bolju prosečnu iskorištenost tehnoloških sistema koji ulaze u sastav virtuelne proizvodne ćelije i dolaze do zaključka da tako razvijen algoritam daje rešenja mnogo brže u odnosu na genetske algoritme.

U radu (Xambre and Vilarinho 2007) autori dolaze do rezultata da virtuelne proizvodne ćelije doprinose uravnoteženju opterećenja kapaciteta, upotrebi tehnoloških sistema za više od jedne grupe predmeta rada i uprošćenju tokova materijala.

U radu (Kesen et al. 2009) autori pokazuju da virtuelne proizvodne ćelije nadmašuju procesnu organizaciju i klasične ćelije u širokom spektru posmatranih parametara. Virtuelne ćelije omogućuju brzu reakciju na promene u zahtevima kupaca zadržavajući pri tome fleksibilnost i efikasnost u pogledu pripremno-završnih vremena.

U radu (Khilwani et al. 2009) autori prikazuju istraživanje u kojem se dolazi do zaključaka da su virtuelne proizvodne ćelije najbolje rešenje kada je varijabilnost u zahtevima kupaca velika i kada mogućnost obrade više različitih familija smanjuje pripremno-završna vremena, vreme manipulisanja materijalom itd.

U radu (Rezazadeh et al. 2009) je prikazan matematički model dinamičkih virtuelnih proizvodnih ćelija koji se rešava optimizacijskim metodama uz primenu veštačke inteligencije.

U radu (Mahdavi et al. 2009) autori prezentuju matematički model za planiranje proizvodnje za dinamičke proizvodne ćelije radi upravljanja tehnološkim sistemima i učesnicima u procesima rada tokom odgovarajućeg planskog perioda.

U radu (Kesen, Das, and Güngör 2010) autori kreiraju pretraživačku heuristiku zasnovanu na genetskom algoritmu za terminiranje virtuelnih proizvodnih ćelija. Isti autori takođe razvijaju i metodu za terminiranje poslova u slučaju kada postoji više alternativnih tehnoloških sistema i više alternativnih tokova materijala što je prikazano u radu (Kesen, Das, and Gungor 2009).

U radu (Rezazadeh, Mahini, and Zarei 2011) autori daju rešenje za formiranje dinamičkih virtuelnih proizvodnih ćelija primenom linearnog programiranja i optimizacijskih metoda podržanih primenom veštačke inteligencije.

U radu (Hamedi et al. 2012b) autori primenjuju tabu pretraživanje za formiranje virtuelnih proizvodnih ćelija u proizvodnom sistemu sa ograničenjima u pogledu raspoloživih tehnoloških sistema i učesnika u procesima rada.

Iz prethodno navedenih objavljenih istraživanja može se zaključiti da se virtuelne proizvodne ćelije mogu primenjivati u proizvodnim sistemima gde postoji potreba za izmenama proizvodnog miksa, promenljivi zahtevi za proizvodima od strane kupaca, neuravnoteženost kapaciteta tehnoloških sistema i duga pripremno završna vremena, kao i da virtuelne proizvodne ćelije u većini slučajeva daju bolje rezultate nego ostali oblici organizovanja proizvodnje u pogonu.

U nastavku je dat pregled prilaza planiranju i upravljanju proizvodnim ćelijama.

2. Pregled sistema planiranja i upravljanja klasičnim proizvodnim ćelijama

Grupna tehnologija predstavlja prilaz koji omogućuje postizanje efikasnosti u procesu proizvodnje primenom principa sličnosti (predmeta rada, operacija rada). Međutim, grupna tehnologija ne omogućuje planiranje vremenskog aspekta proizvodnog procesa, planiranje potrebnih kapaciteta i resursa i upravljanje istim. Planiranje i upravljanje proizvodnjom, odnosno procesima rada u okviru proizvodnog sistema, utiče na:

- analizu i planiranje proizvodnih kapaciteta, potreba za materijalima, alatima i priborom;

- analizu i planiranje potreba učesnika u procesima rada;
- kreiranje operativnog plana proizvodnje;
- terminiranje radnih naloga;
- terminiranje ulaska materijala i alata u proces rada;
- upravljanje zalihama;
- praćenje izvršenja toka proizvodnje;
- analizu ulaznih, procesnih i izlaznih veličina proizvodnog procesa i
- kreiranje predloga poboljšanja procesa rada.

Planiranje procesa rada i upravljanje proizvodnim sistemom organizovanim prema principima grupne tehnologije može biti urađeno na više načina. U praksi su razvijene metode i tehnike koje su objedinjene u okviru nekoliko poznatih prilaza odnosno sistema:

- prilaza upravljanja periodičnim serijama predmeta rada - PBC (*engl. Period Batch Control*) sistem;
- MRP sistema (*engl. Material Resource Planning*);
- JIT sistema (*engl. Just-In-Time*) kao dela LEAN proizvodne filozofije i
- IIS-DZ prilaza.

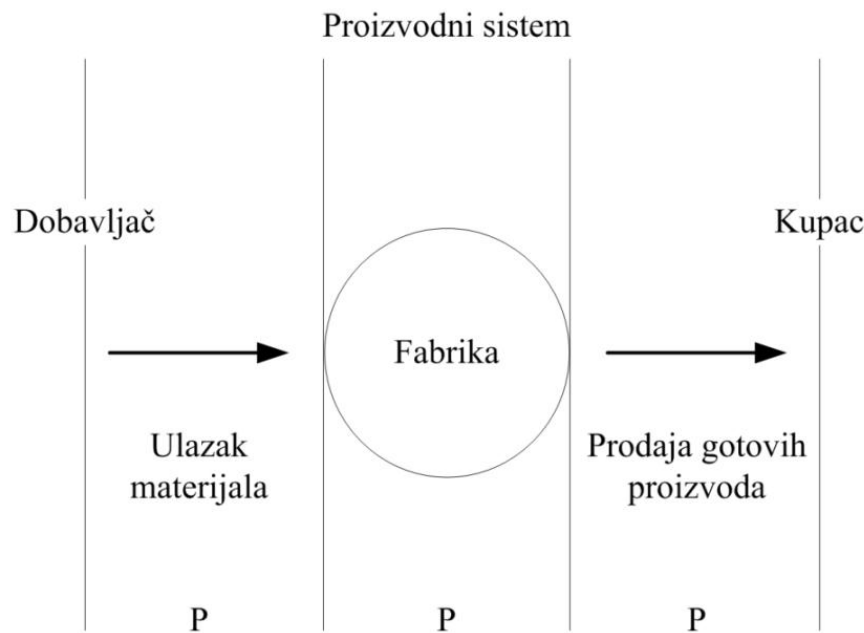
U ovom poglavlju će biti predstavljen svaki od nabrojanih prilaza odnosno sistema planiranja i upravljanja proizvodnjom, a nakon toga će biti izvršeno poređenje njihovih karakteristika.

2.1. Prilaz upravljanju periodičnim serijama predmeta rada – PBC sistem

PBC sistem se zasniva na pretpostavci da je proizvodnja gotovih proizvoda kompleksan zadatak i da upravljanje procesima rada u proizvodnom pogonu treba pojednostaviti. PBC sistem se često vezuje za upravljanje proizvodnjom organizovanom prema principima grupne tehnologije. Jednostavnije upravljanje proizvodnim sistemima se zasniva na ideji da je potrebno proizvoditi u fazama obrade ili montaže koje obuhvataju više radnih naloga, ali na taj način da se svaka faza obrade ili montaže odvija u toku jednakog vremenskog perioda, odnosno da svaka faza obrade ili montaže traje isti period vremena. Taj period vremena se može obeležiti sa P, a broj faza obrade ili montaže sa N. Predmeti rada mogu se nalaziti u međuskladištima dok čekaju na početak sledeće faze obrade ili montaže. Proizvodni procesi u okviru faza obrade ili montaže se mogu odvijati u okviru obradnih ili montažnih ćelija.

Početak razvoja PBC sistema upravljanja proizvodnjom se vezuje za drugu polovinu 20-tih godina 20. veka. Istorijat razvoja PBC sistema je prikazan u radu (Benders 2002). Autor sistema je engleski inženjer R.Dž. Džigli, koji je upotrebljavao ovaj sistem do 1947. godine. Inženjer i naučnik koji je najviše doprineo razvoju i primeni PBC sistema je bio Dž. L. Barbiž čija su istraživanja su objavljena u radovima (Burbidge 1983), (Burbidge 1985), (Burbidge 1988), (Burbidge 1990), (Burbidge 1994), (Burbidge and Halsall 1994) i u knjigama (Burbidge 1962), (Burbidge 1989) i (Burbidge 1996). Pored Barbidža pojavljuju se i drugi istraživači koji se bave PBC sistemom upravljanja proizvodnjom. Istraživanja koja se bave PBC sistemom su objavljena u radovima (New 1977a), (Whybark 1984), (Zelenović and Tešić 1988), (Yang and Jacobs 1992), (Kaku and Krajewski 1995), (Borgen 1996), (Rachamadugu and Tu 1997), (Steele and Malhotra 1997), (Benders and Riezebos 2002), (Teixeira Junior, Fernandes, and Pereira 2006), (Silva and Fernandes 2008), (Severino et al. 2010) i (Fernandes et al. 2012), kao i u doktorskim disertacijama (Slomp 1993) i (Riezebos 2001).

Prikaz ideje postavke PBC sistema prema Barbidžu koja je objavljena u radu (Burbidge 1985) je dat na slici 11.



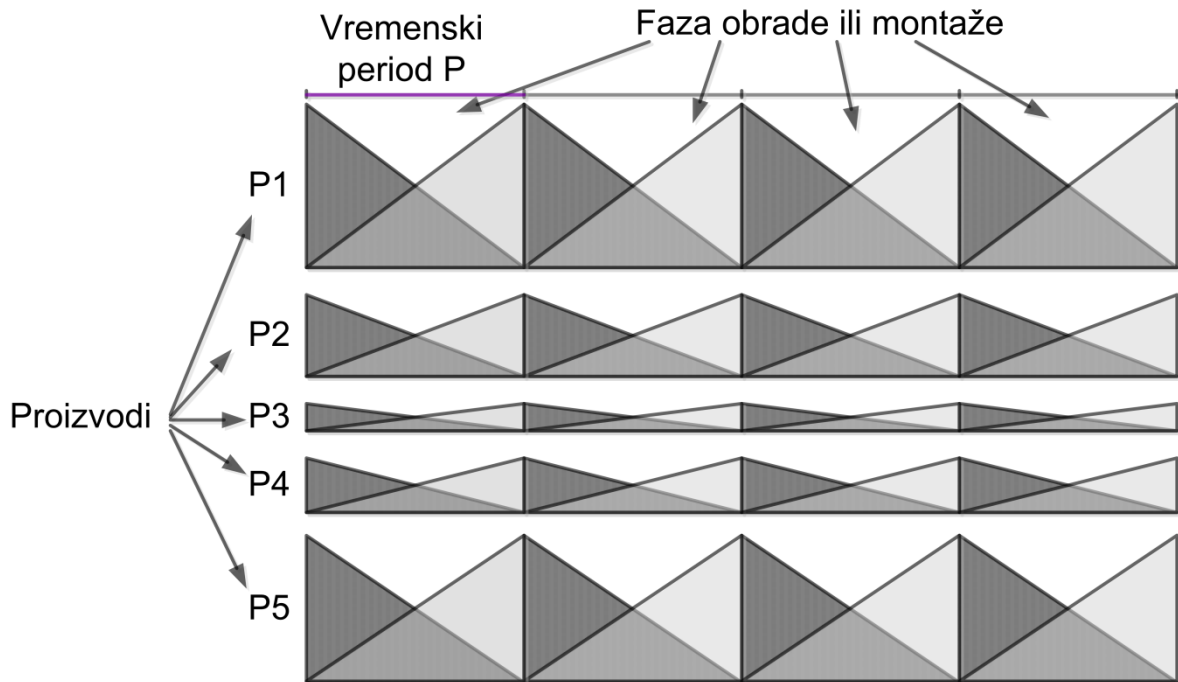
Slika 11. PBC sistem (Burbidge 1985)

Riezebos u (Riezebos 2001) navodi bitne principe PBC sistema:

- učestalost puštanja radnih naloga u proizvodnju - svaki predmet rada ima istu frekvenciju puštanja u proizvodnju kao i proizvod u čiji sastav ulazi;
- radni nalozi se puštaju u proizvodnju u istom momentu na početku perioda P i

- radni nalozi imaju ista vremena završetka u okviru jedne faze obrade ili montaže.

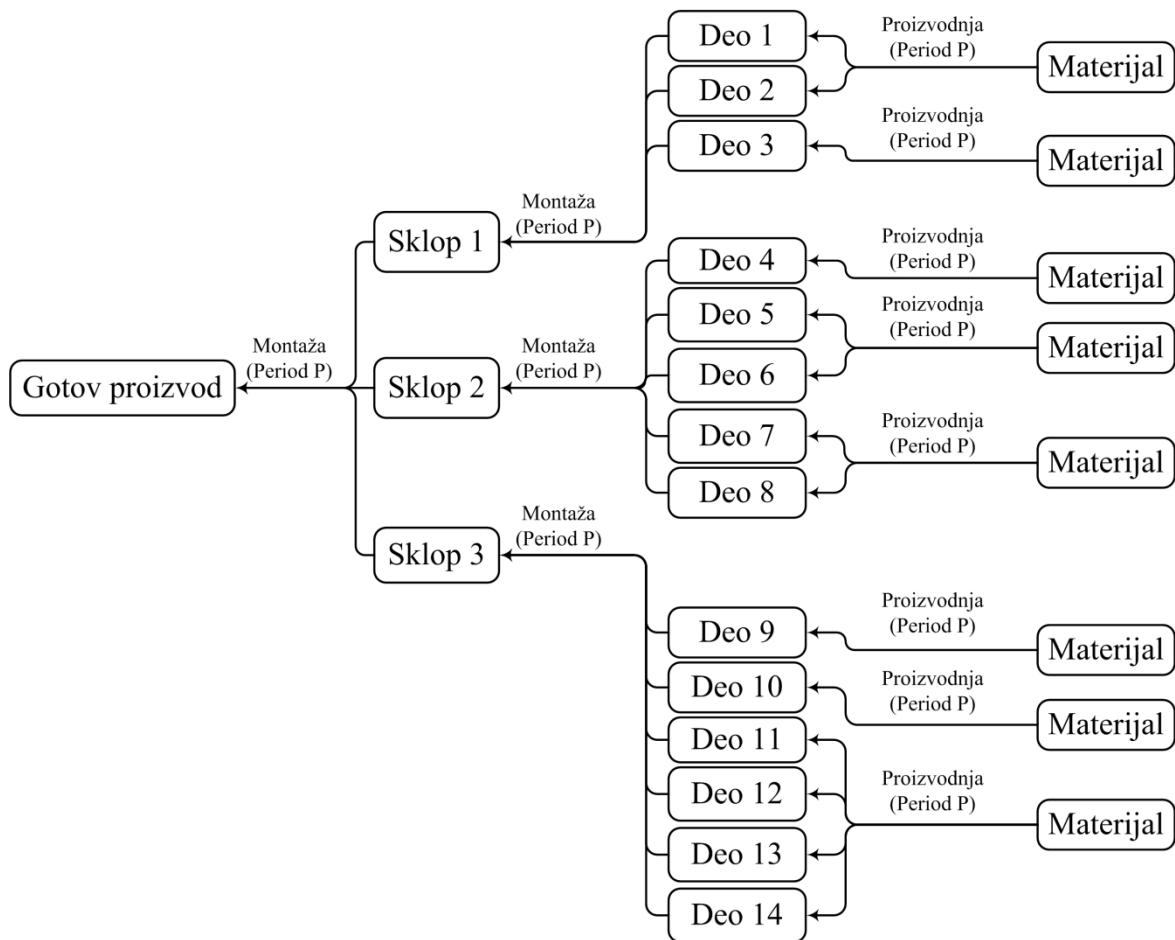
Svi proizvodi poručeni od strane kupaca se poručuju za isti period ali u različitim količinama. Ukoliko svi poručeni proizvodi imaju isti ciklus (period P) i iste faze obrade ili montaže (proizvodi se mogu proizvoditi u različitim količinama), tada se radi o osnovnom PBC sistemu (New 1977a). Osnovni PBC sistem je prikazan na slici 12.



Slika 12. Osnovni PBC sistem

Ukupno vreme potrebno za proizvodnju nekog proizvoda je vreme koje se dobija sabiranjem dužina vremenskih perioda P, za sve faze obrade i montaže. Sa slike 11 može se videti da se ukupno vreme koje protekne od trenutka kada kupac poruči proizvode do trenutka isporuke, dobija sabiranjem ukupnog vremena potrebnog za proizvodnju sa vremenom prijema porudžbina (P) i vremenom potrebnim za prodaju proizvoda (P). Primena osnovnog PBC sistema obezbeđuje proizvodnju samo onih delova za čije proizvode postoje porudžbine u odgovarajućem periodu i izbegava se situacija u gde u jednom periodu postoji proizvodnja više različitih delova, a već u sledećem periodu tehnološki sistemi ostaju neiskorišteni (Burbidge 1990). Ostale varijante PBC sistema podrazumevaju različita vremena puštanja i završetaka radnih naloga za delove (predmete rada) istog proizvoda, međutim osnovni PBC sistem ostaje cilj kojem je potrebno težiti zbog jednostavnijeg i lakšeg upravljanja proizvodnjom (Riezebos 2001). Nije moguće uvek ispoštovati principe PBC sistema, te se kroz podešavanja procesa rada tokom vremena može postići osnovni PBC sistem. Na slici 13 prikazana je struktura proizvoda

prema PBC sistemu. Kao što je prikazano na slici 13, predmeti rada odnosno delovi, sklopovi i finalni proizvod se izrađuju (sklapaju) u okviru istog vremenskog perioda P, te ukupno vreme proizvodnje koja se izvodi u tri proizvodne faze (jedna faza obrade i dve faze montaže) u ovom slučaju iznosi $3 \cdot P$.



Slika 13. Struktura proizvodva – PBC sistem

Primena PBC sistema je usko vezana za implementaciju grupne tehnologije i proizvodnje u okviru proizvodnih ćelija. Grupisanjem predmeta rada, vrše se uštede na pripremno-završnim vremenima, a grupisanjem tehnoloških sistema vrše se uštede na vremenu transporta predmeta rada između sukcesivnih operacija rada. Uspešnost primene grupne tehnologije zavisi u velikoj meri od toga kakav je prilaz planiranju i upravljanju proizvodnim sistemima. U literaturi se navode primeri uspešne primene grupne tehnologije, objavljeno u radu (Zelenović and Tešić 1988), i primeri neuspešne primene zbog neadekvatnog pristupa planiranju i upravljanju proizvodnjom, objavljeno u radu (Burbidge 1988). Ukoliko se grupna tehnologija primenjuje u proizvodnom okruženju u kojem se delovi proizvode u različitim proizvodnim ciklusima, tada dolazi do neuravnoteženosti u opterećenju tehnoloških sistema u okviru proizvodnih ćelija (Kaku

and Krajewski 1995). U radu (Burbidge 1988) se navodi da se neuravnoteženost može prevazići puštanjem radnih naloga za proizvodnju predmeta rada u okviru istog vremenskog perioda odnosno ciklusa proizvodnje. Značajan problem u proizvodno orijentisanim preduzećima je kako smanjiti vreme trajanja ciklusa proizvodnje. Mnogi autori smatraju da se to može uraditi primenom PBC sistema, što je prikazano u radovima (Zelenović and Tešić 1988), (Burbidge and Halsall 1994) i (Benders and Riezebos 2002).

Mogućnosti primene PBC sistema u proizvodnim sistemima su razne:

- u radu (Whybark 1984) Vajbark opisuje primenu PBC sistema u finskoj kompaniji Kumera Oy za proizvodnju procesne opreme;
- u doktorskoj disertaciji (Slomp 1993) Slomp prikazuje primenu PBC sistema u kombinaciji sa fleksibilnim proizvodnim sistemom;
- u radu (Burbidge 1994) je navedena primena PBC sistema u livnicama i industriji proizvodnje proizvoda od stakla i gline;
- u radu (Borgen 1996) autor prikazuje primenu PBC sistema u proizvodnji odnosno štampi dnevnih novina;
- u knjizi (Burbidge 1996) je navedena primena PBC sistema u različitim tipovima industrije (proizvodnja i montaža predmeta rada, proizvodnja prehrambenih proizvoda);
- u doktorskoj disertaciji (Riezebos 2001) Riezebos navodi primenu u industriji proizvodnje nameštaja, elektronskih komponenti i nekoliko fabrika za proizvodnju delova (predmeta rada) u Holandiji;
- u radu (Teixeira Junior, Fernandes, and Pereira 2006) autori prezentuju primenu PBC sistema u livnici čelika;
- u istraživanjima objavljenim u radovima (Silva and Fernandes 2008) i (Fernandes et al. 2012) PBC sistem se primenjuje u proizvodnji obuće gde postoji veliki broj varijanti finalnih proizvoda i
- u radu (Severino et al. 2010) autori prezentuju primenu PBC sistema u proizvodnji kapitalnih dobara.

Projektovanje PBC sistema zahteva nekoliko bitnih upravljačkih odluka (Burbidge 1989):

- određivanje dužine vremenskog perioda trajanja faza obrade ili montaže (P);
- određivanje broja faza obrade ili montaže (N) u odnosu na period P i

- određivanje odgovarajuće politike prijema porudžbina od strane kupaca, nabavke materijala i alata od dobavljača, rada sa podugovaračima i isporuke gotovih proizvoda kupcima.

U nastavku će biti objašnjeni detalji koji se odnose na kompleksnost donošenja ovih upravljačkih odluka.

2.1.1. Određivanje dužine vremenskog perioda trajanja faza obrade ili montaže (P)

Određivanje dužine vremenskog perioda P jeste možda i najkompleksnija aktivnost u okviru procesa projektovanja PBC sistema.

Većina istraživača koji su se bavili problematikom PBC sistema koristilo je različite metode za određivanje dužine vremenskog perioda P. Na primer, prema istraživanju Zelenovića i Tešića objavljenom u radu (Zelenović and Tešić 1988), dužina perioda P se određuje na osnovu karakteristika proizvodnog sistema i proizvodnog programa, kao i na osnovu podataka iz sastavnice proizvoda.

Prilikom određivanja dužine perioda P, Barbidž u radu (Burbidge 1979) navodi da je potrebno voditi računa o tome da tehnološki sistemi raspolažu kapacitetima za obradu predmeta rada u toku perioda, da se serije predmeta rada odnosno proizvoda mogu kompletirati u okviru perioda, kao i da efektivni kapacitet tehnoloških sistema bude dovoljno visok. Isti autor takođe u svojoj knjizi (Burbidge 1989) navodi da je cilj uvek skratiti dužinu perioda radi smanjenja troškova držanja zaliha. Isti autor u knjizi (Burbidge 1996) navodi da se određuju prvo broj i sadržaj faza obrade ili montaže a zatim dužina perioda P.

Različiti istraživački radovi su prikazali eksperimente sa različitim dužinama perioda. U radu (Zelenović and Tešić 1988) i doktorskoj disertaciji (Slomp 1993) se predlaže dužina perioda od jedne ili dve nedelje. U radu (Burbidge 1988) i u knjizi (Burbidge 1996) se predlaže dužina perioda od nedelju dana. U radu (Yang and Jacobs 1992) autori su testirali različite dužine perioda od dve, tri i četiri nedelje. U radu (Kaku and Krajewski 1995) autori su razmatrali periode dužine 2, 3, 4 i 5 dana. U radu (Steele and Malhotra 1997) autori su testirali periode od 3, 4, 5, 6 i 7 dana.

U literaturi se mogu pronaći u nastavku navedena istraživanja u kojima su definisane formalne metode za određivanje dužine perioda P.

U radu (Kaku and Krajewski 1995) autori navode da se odluka o dužini perioda P donosi kroz funkciju troškova koji nastaju u proizvodnji (troškovi držanja zaliha, operativni troškovi itd.). Proizvodnja putem klasičnih proizvodnih ćelija ne omogućuje fleksibilnost u pogledu ispunjenja promjenljivih zahteva kupaca te troškovi proizvodnje rastu sa povećanjem varijantnosti porudžbina kupaca. Autori predlažu držanje rezervnih zaliha kako bi se odgovorilo na promjenljive zahteve kupaca i definišu fiksnu dužinu perioda koja bi minimizovala ukupne godišnje troškove.

U radu (Rachamadugu and Tu 1997) se koristi sličan pristup kao i u prethodno navedenom radu, odnosno dužina perioda se posmatra kroz troškove držanja zaliha i troškove koje uzrokuju pripremno-završne operacije poput zamene i podešavanja alata i pribora na radnim mestima i dopremanja potrebnog materijala do radnog mesta. Autori smatraju da duga vremena trajanja perioda P uzrokuje veće troškove držanja zaliha i manje troškove pripremno-završnih operacija i obrnuto, odnosno da kraće vreme trajanja perioda P uzrokuje manje troškove držanja zaliha i veće troškove pripremno završnih operacija. Autori kreiraju proceduru za određivanje dužine perioda P uz minimizaciju navedenih troškova.

U doktorskoj disertaciji (Riezebos 2001), Riezebos navodi da i pripremno-završno vreme utiče na odluku o dužini perioda. Riezebos je obradio matematički model za određivanje dužine perioda u proizvodnim sistemima sa proizvodnjom u klasičnim proizvodnim ćelijama, sa ciljem da se matematički definiše dužina perioda. Tom prilikom uvrstio je u odluku o dužini perioda i postupak prelaska predmeta rada sa operacije na operaciju i mogućnosti obrade serija predmeta rada u partijama. Riezebos je razmatrao i dužinu perioda sa aspekta troškova pripremno-završnih operacija i troškova držanja zaliha.

Sumirajući sva prethodna istraživanja u vezi sa dužinom perioda P, može se izvesti zaključak da na dužinu perioda najviše utiču:

- struktura i količina poručenih proizvoda;
- struktura i karakteristike proizvodnog sistema;
- kompleksnost proizvodnog procesa;
- karakteristike tehnoloških sistema (broj tehnoloških sistema istog tipa, mogućnosti obrade, efektivni obradni kapaciteti - K_e , vremena pripreme radnih mesta);
- postupci prelaska predmeta rada sa operacije na operaciju koji utiču na dužinu vremena trajanja ciklusa proizvodnje (T_{cp});

- kompleksnosti projektovanih tokova materijala;
- postojanje međuskladišta i
- dostupnost materijala i potrebnog alata i pribora.

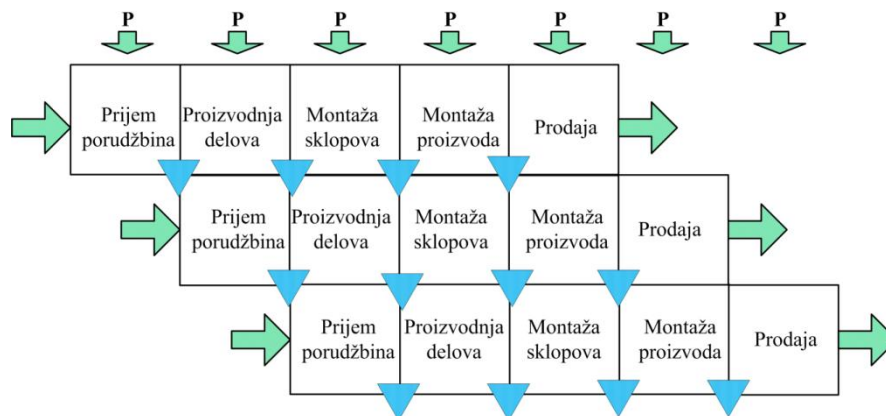
Svi nabrojani elementi se moraju pažljivo analizirati i planirati pre donošenja odluke o periodu.

2.1.2. Određivanje broja faza obrade ili montaže (N)

Proces proizvodnje se može odvijati u jednoj ili više faza obrade ili montaže. Dekompozicijom procesa proizvodnje na faze operacije rada se grupišu na način da čine smislenu celinu, kao na primer na slici 14 gde postoje tri faze:

- proizvodnja delova;
- montaža sklopova i
- montaža proizvoda.

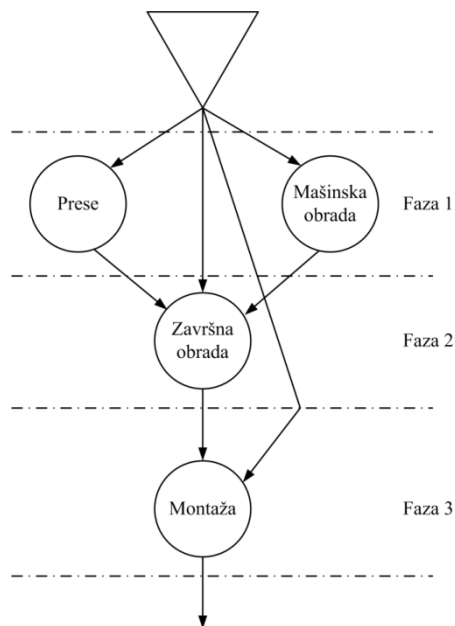
Sušтина PBC sistema upravljanja jeste da svaka faza obrade ili montaže traje isti period vremena P, odnosno da se sve operacije unutar jedne faze moraju završiti do isteka zadatog perioda. Upravljačka odluka o tome koje će operacije predstavljati jednu fazu obrade ili montaže nije nimalo jednostavna. Više faza obrade ili montaže se mogu odvijati istovremeno kao što je prikazano na slici 14. Između faza obrade ili montaže se nalaze međuskladišta (označena trouglom na slici). Svaka naredna faza obrade ili montaže zahteva obavezno kompletiranje svih operacija rada u prethodnoj fazi.



Slika 14. Faze obrade i montaže u PBC sistemu

Određivanje sadržaja određene faze obrade ili montaže zahteva analizu procesa proizvodnje. Upotrebom ranije opisane analize proizvodnih tokova (Burbidge 1989), moguće je identifikovati operacije rada u proizvodnom procesu koje su međusobno povezane i koje se generalno izvršavaju zajedno kako bi se napravio odgovarajući predmet

rada. Potrebno je raspolagati odgovarajućim podacima poput listi predmeta rada koji se proizvode i listi tehnoloških sistema, alata i pribora za njihovu proizvodnju. U knjizi (Burbidge 1989) autor navodi da je neophodno detaljno sagledati tokove materijala a zatim, ukoliko je to u zavisnosti od situacije moguće, pojednostaviti ih kombinovanjem tehnoloških sistema koji kompletiraju skup operacija rada nad predmetima rada. Na slici 15 je dat rezultat ovakve analize. Slika 15 prikazuje tri faze, dve za obradu predmeta rada i jednu za montažu.



Slika 15. Faze u procesu proizvodnje dobijene analizom tokova materijala (Burbidge 1989)

Dužina perioda P može da utiče na broj operacija rada koje je moguće izvršiti za dato vreme u nekoj fazi obrade ili montaže, odnosno duži period daje manje faza a kraći period više faza u procesu proizvodnje.

2.1.3. Određivanje odgovarajuće politike prijema porudžbina od strane kupaca, nabavke materijala i alata od dobavljača, rada sa podugovaračima i isporuke gotovih proizvoda kupcima.

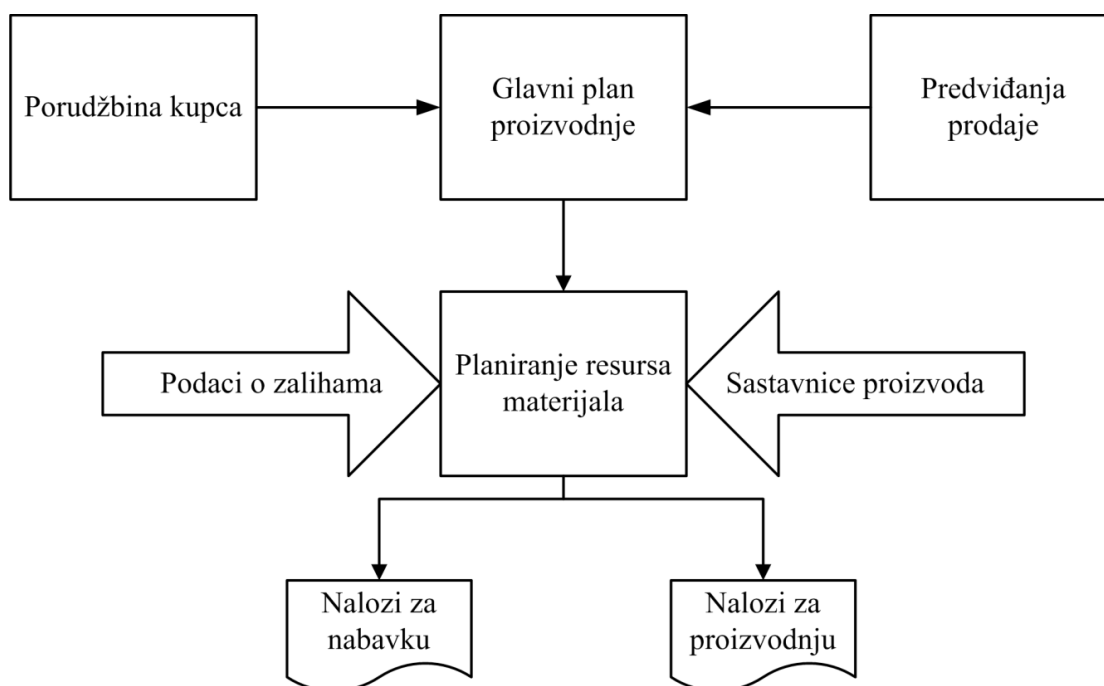
Sa slike 11 se vidi da pre početka procesa proizvodnje postoji faza koja se odnosi na prijem porudžbina od strane kupaca. U istoj fazi se može odvijati i poručivanje potrebnih materijala i alata, a moguće je da se ovi poslovi izvršavaju i u zasebnoj fazi. Pre početka procesa proizvodnje potrebno je održati sastanak u vezi sa definisanjem operativnog plana proizvodnje (Burbidge 1985). Barbidge navodi da je cilj skratiti vreme trajanja proizvodnog ciklusa i vreme nabavke materijala ili alata (Burbidge 1985). Dobro planiran proizvodni sistem mora omogućiti sinhronizaciju transfera materijala između faza obrade ili montaže,

odnosno svi učesnici u procesima rada, podugovarači, dobavljači i kupci moraju biti svesni vremena početka i završetka odgovarajuće faze obrade ili montaže dužine perioda P (Riezebos 2001). Barbidž u knjizi (Burbidge 1989) predlaže dugoročne ugovore sa dobavljačima koji neophodne materijale mogu isporučivati ili prema porudžbini za odgovarajući period ili mogu isporučivati odgovarajuće količine na osnovu predviđanja a razliku nadoknađivati iz zaliha. Ovime se obezbeđuje dodatna sigurnost isporuke (zbog dugoročnih ugovora).

2.2. MRP sistem upravljanja proizvodnjom

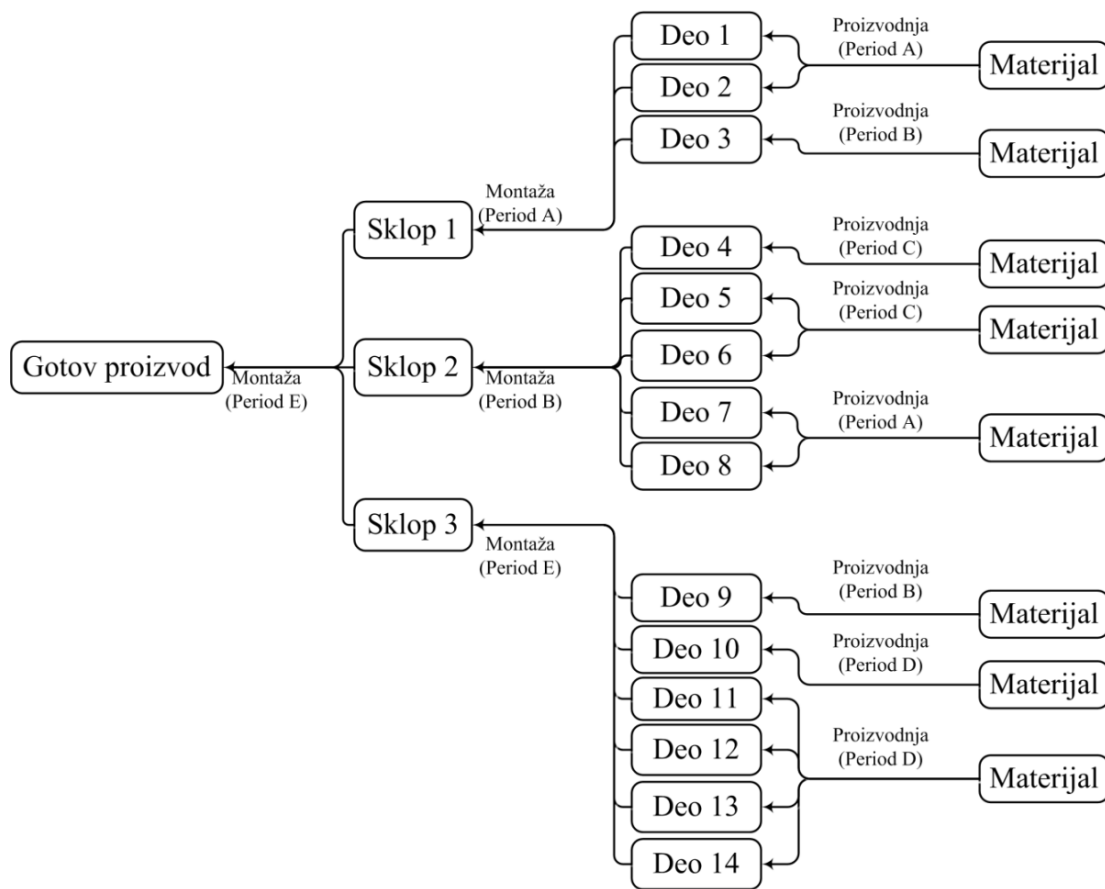
MRP predstavlja sistem za planiranje proizvodnih resursa (*engl. Manufacturing Resource Planning*). Sistemi upravljanja proizvodnjom zasnovani na MRP principima se nalaze u osnovi proizvodnih modula sistema za upravljanje resursima preduzeća, odnosno ERP (*engl. Enterprise Resource Planning*) sistema (Hyer and Wemmerlov 2001).

MRP sistem u osnovi predstavlja sistem kod kojeg se potrebe za sklopovima i delovima proračunavaju na osnovu sastavnica proizvoda (Orlicky 1974). Količine proizvoda se dobijaju na osnovu predviđanja prodaje za naredni planski period i količina iz prošlih perioda. Informacije koje se koriste u MRP sistemu su količine predmeta rada (iz glavnog plana proizvodnje) koje je potrebno proizvesti za odgovarajući proizvod, vreme trajanja proizvodnog ciklusa, stanje zaliha u toku procesa proizvodnje. MRP sistem je prikazan na slici 16.



Slika 16. Ulazne i izlazne informacije MRP sistema (Cecelja 2002)

Glavni plan proizvodnje predstavlja bazu podataka, koja ima namenu da pruži informacije o tome šta je potrebno proizvesti, odnosno buduće zahteve za proizvodima. MRP sistemi su orijentisani na proizvodnju bez dodatnih zaliha te je potrebno doneti odluku o količini proizvoda koji će se proizvoditi primenom nekog od postojećih pravila određivanja veličine serije. Iz glavnog plana proizvodnje se proračunavaju zahtevi za sklopovima i delovima upotrebom sastavnice proizvoda. Sastavnica MRP sistema je data na slici 17. Sa slike 17 se vidi da svaki deo koji ulazi u sastav nekog proizvoda može imati različit period obrade ili montaže (različiti periodi su označeni sa A, B, C, D, itd.).



Slika 17. Sastavnica MRP sistema

Konačni zahtevi se dobijaju uključivanjem postojećih zaliha i vanrednih porudžbina kupaca u proračun. Upravljanje podacima o zalihama se uglavnom održava putem tri skupa (baze) podataka (Cecelja 2002):

- lista svih predmeta rada sa pripadajućim identifikacionim brojevima, vremenima obrade i troškovima proizvodnje po jedinici;
- skladišnih transakcija, odnosno podataka o nivoima zaliha i prometu na skladištu i
- lokacija na kojima se nalaze predmeti rada.

Održavanje ažurnih i tačnih podataka u ovim bazama podataka predstavlja bitan faktor ispravnog funkcionisanja MRP sistema i istovremeno veoma zahtevan zadatak.

Početa verzija MRP sistema nije raspolagala povratnim informacijama iz proizvodnje. Kako bi se taj problem rešio, kreirani su MRP sistemi zatvorenog tipa odnosno sistemi sa povratnom petljom u kontekstu informacija uzetih iz proizvodnog procesa.

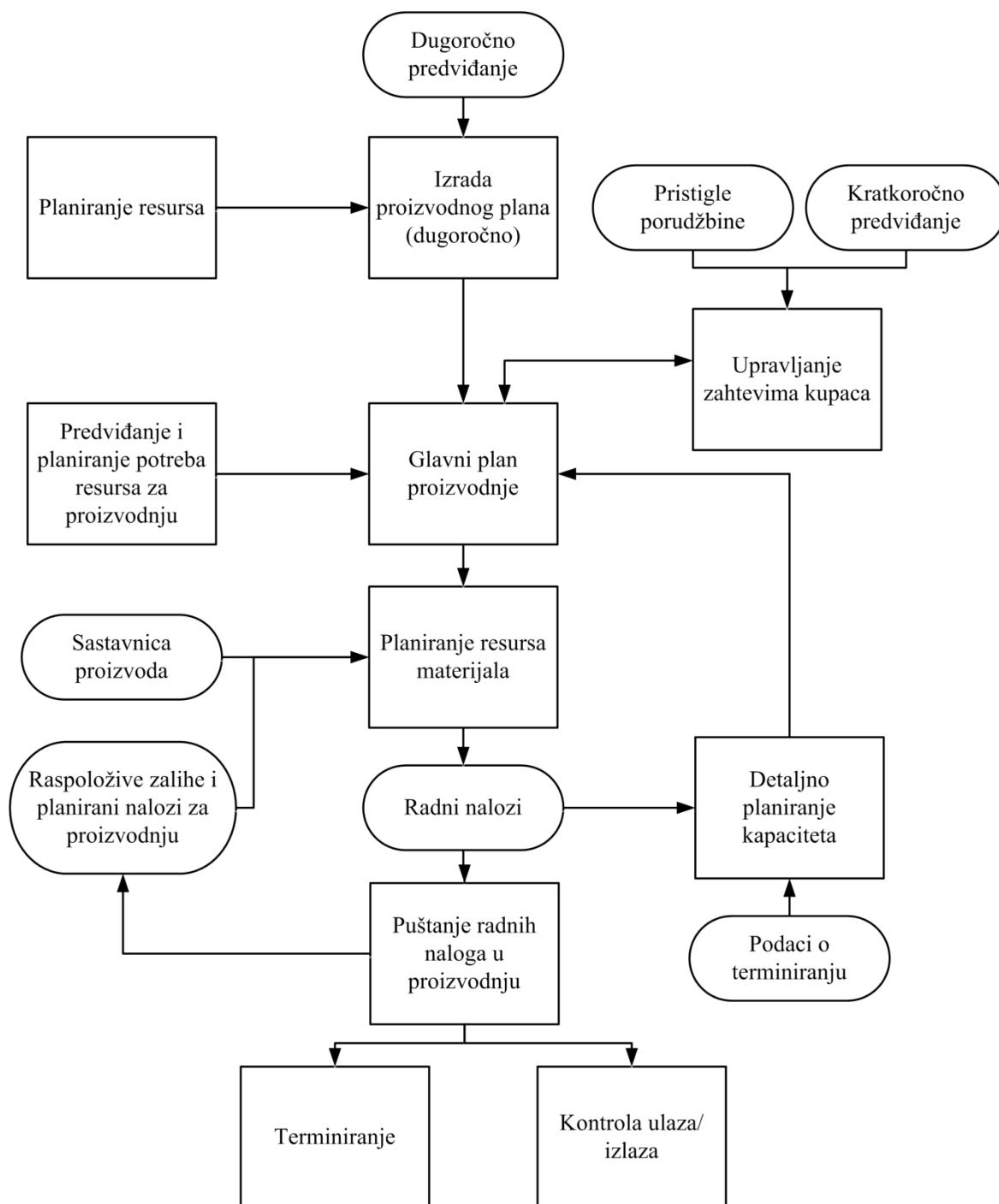
Originalni MRP sistem je poboljšan povratnim informacijama o stanju proizvodnih resursa (poput raspoloživih proizvodnih kapaciteta itd.) u odnosu na plan proizvodnje. Povratne informacije omogućuju da se, u slučaju da postojeći kapaciteti ne mogu ispuniti glavni plan proizvodnje, izvrše odgovarajuće promene (Ham, Hitomi, and Yoshida 1985):

- vremena rada;
- broja smena;
- angažovanja podugovarača;
- glavnog plana proizvodnje i
- postojećih proizvodnih kapaciteta.

Tokom vremena identifikovano je nekoliko problema MRP sistema koji se odnose na nemogućnost izvođenja MRP planova zbog nedostatka kapaciteta, na duga planirana vremena za proizvodnju poručenih proizvoda i na promene u terminskim planovima koje su uzrokovane izmenama operativnog plana (Hopp and Spearman 2000).

Kako bi se prevazišli problemi MRP sistema nastao je MRP II sistem koji proširuje osnovni MRP sistem sa modulima za upravljanje zahtevima kupaca, planiranje kapaciteta, upravljanje operacijama rada i proizvodnim aktivnostima kroz terminiranje radnih naloga i kontrolu ulaznih i izlaznih veličina procesa proizvodnje. Pregled modula MRP II sistema je dat na slici 18.

Proširenjem funkcionalnosti MRP II sistema nastali su sistemi za planiranje resursa celokupnog preduzeća, odnosno ERP sistemi (*engl. Enterprise Resource Planning*).



Slika 18. Moduli MRP II sistema (Hopp and Spearman 2000)

2.2.1. Integracija MRP sistema i grupne tehnologije

Primena integrisanog sistema koji obuhvata i grupnu tehnologiju i MRP sistem je objavljena u radovima (New 1977b), (Suresh 1979), (Hyer and Wemmerlov 1982) i (Ham, Hitomi, and Yoshida 1985). Derou i Gupta u radu (Darrow and Gupta 1989) prikazuju na studiji slučaja da se integracijom grupne tehnologije i MRP sistema ostvaruje ušteda od 23% u troškovima proizvodnje.

Integracija grupne tehnologije u MRP sistem se može izvesti u nekoliko koraka (Sato, Ignizio, and Ham 1978):

- prikupljanje podataka za MRP i grupnu tehnologiju (podaci o predmetima rada, tehnološkim sistemima, predviđanja zahteva za proizvodima itd.);
- kreiranje grupa predmeta rada (delova);
- određivanje vremenskog perioda proizvodnje za svaki pojedinačni predmet rada putem MRP sistema;
- usklađivanje vremenskih perioda proizvodnje za predmete rada sa kreiranim grupama i
- upotreba odgovarajućeg algoritma za određivanje optimalnog terminskog plana proizvodnje.

Uvođenjem grupne tehnologije i ćelijskog načina proizvodnje potrebno je izvršiti odgovarajuće izmene MRP sistema (Hyer and Wemmerlov 2001):

- izmene sastavnica proizvoda i vođenja MRP zapisa o stanju zaliha u bazi podataka, u smislu da se neki nivoi iz sastavnice gube usvajanjem grupne tehnologije i ćelijskog načina proizvodnje, a samim tim i da više ne postoji potreba za vođenjem MRP zapisa o tim delovima, podsklopovima ili sklopovima i
- izmene planskog perioda u smislu da uvođenje grupne tehnologije i ćelijskog načina proizvodnje može skratiti vreme trajanja ciklusa proizvodnje što dalje utiče i na izmene u glavnom planu proizvodnje (skraćenje planskog perioda se dešava zbog nestanka odgovarajućih nivoa iz strukture sastavnice proizvoda, što takođe smanjuje i grešku prilikom predviđanja prodaje).

2.3. JIT sistem upravljanja proizvodnjom

JIT (*engl. Just-In-Time*) sistem upravljanja proizvodnjom se naziva još i sistemom upravo-na-vreme i predstavlja prilaz upravljanju razvijen u preduzeću „Tojota”. Sistem predstavlja ključni deo LEAN pristupa upravljanju koji pored JIT sistema integriše i upravljanje kvalitetom proizvoda, timski rad, proizvodnju u radnim jedinicama odnosno proizvodnim ćelijama i upravljanje odnosima sa dobavljačima (Shah and Ward 2003). Osnovni princip JIT sistema jeste da se moraju proizvoditi samo neophodni predmeti rada (delovi) u malim količinama u najkasnijem mogućem trenutku vremena kako bi se gubitci koji nastaju tokom izvođenja procesa proizvodnje sveli na minimum, kao što je navedeno u radovima (Sohal and Howard 1987) i (Gravel and Price 1988). Pod gubitcima se podrazumeva upotreba proizvodne

opreme i radne snage, materijala, upotreba prostora i potrošnja materijala izvan potrebnog minimuma za proces proizvodnje. JIT sistem obezbeđuje dobre rezultate u odgovarajućim uslovima (Schroeder 1993):

- repetitivna proizvodnja i podjednako opterećivanje poslovima;
- stabilna potražnja za proizvodima i stabilnost proizvodnog miksa;
- dugoročni odnosi sa dobavljačima koji omogućuju česte dostave i kvalitet materijala ili predmeta rada (delova) i
- radnici odnosno učesnici u procesima rada koji poznaju rad na više različitih tehnoloških sistema.

Upravljanje proizvodnjom se vrši putem kartica koje se nazivaju kanban (*jap. Kartica*) i koje se koriste da se minimizuje nedovršena proizvodnja u toku procesa rada i minimizuje nivo zaliha materijala (Ohno 1988). Zbog upotrebe kanban kartica JIT sistem se naziva još i kanban sistemom za upravljanje proizvodnjom. Uvođenje kanban kartica kao mehanizma za upravljanje procesima rada u proizvodnom sistemu je često posledica uvođenja grupne tehnologije i organizovanja proizvodnje putem proizvodnih ćelija. Na osnovu istraživanja objavljenog u knjizi (Hyer and Wemmerlov 2001), može se zaključiti da se kanban kartice uvode pored nekog postojećeg sistema za upravljanje proizvodnjom (na primer MRP), odnosno ne prelazi se odmah na JIT sistem upravljanja proizvodnjom.

U proizvodnim sistemima se koriste dve vrste kanban kartica, jedna za proizvodnju i druga za transport predmeta rada. Upotreba određene vrste kanban kartica u proizvodnom sistemu zavisi od udaljenosti između sukcesivnih tehnoloških sistema. Ukoliko je ta udaljenost mala, dva sukcesivna tehnološka sistema dele isto međuskладиšte i tada se za upravljanje proizvodnjom koristi samo proizvodni kanban (Berkley 1992). Ukoliko je udaljenost između dva sukcesivna tehnološka sistema veća, odnosno tehnološki sistemi ne dele isto međuskладиšte, za potrebe upravljanja proizvodnjom se uvodi pored proizvodnog i transportni kanban (Kimura and Terada 1981).

Proizvodna kanban kartica se deli na dve vrste (Hirano 2009):

- obična proizvodna kanban kartica – koristi se kao radni nalog za proizvodnju i
- signalna kanban kartica – koristi se za proizvodnju predmeta rada kod kojih postoji značajno pripremno završno vreme (na primer zbog promene alata).

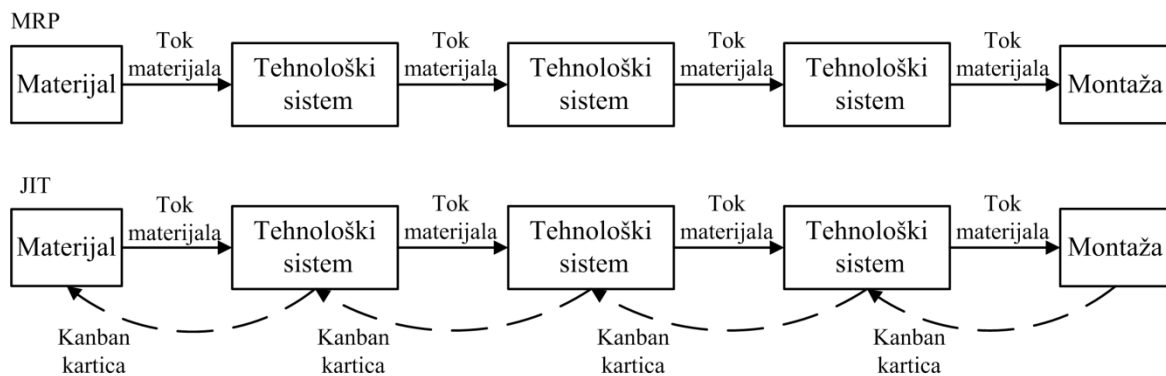
Transportna kanban kartica se takođe deli na dve vrste (Hirano 2009):

- transportnu kanban karticu za dobavljača - upotrebljava se kada je potrebno poručiti veću količinu predmeta rada od dobavljača za upotrebu u procesima montaže i
- transportnu kanban karticu u okviru proizvodnog pogona – upotrebljava se za poručivanje izrade predmeta rada, na primer poručivanje izrade predmeta rada za odgovarajući proces montaže.

Proizvodnja u proizvodnom sistemu upravljanom putem transportnih i proizvodnih kanban kartica se vrši na način kao što je opisano u knjizi (Harrison and Petty 2002). Transportna kanban kartica se šalje zajedno sa praznim transportnim kontejnerom od tehnološkog sistema m+1 do tehnološkog sistema m. Ukoliko postoje gotovi predmeti rada na izlazu iz tehnološkog sistema m, prazan transportni kontejner se zamenjuje sa punim i predmeti rada se transportuju do tehnološkog sistema m+1 zajedno sa transportnom kanban karticom. Prazan transportni kontejner aktivira proizvodnu kanban karticu za proizvodnju delova. Proizvodnja delova može aktivirati transportni kanban za potrebnim materijalom za predmete rada.

Kanban kartice sadrže informacije poput naziva predmeta rada i njegove oznake, oznake tehnološkog sistema ili proizvodne ćelije gde se vrši proizvodnja, veličine i tipa kontejnera, broja kartice i ukupnog broja aktivnih kartica (Hyer and Wemmerlov 2001).

JIT pristup upravljanju proizvodnjom se razlikuje od MRP pristupa po tome što se kod JIT pristupa radni nalozi puštaju u zavisnosti od stanja u proizvodnom pogonu (da li je potrebno proizvoditi ili ne) dok se kod MRP pristupa radni nalozi puštaju u proces proizvodnje prema utvrđenom terminskom planu, što je i prikazano na slici 19.



Slika 19. MRP i Kanban pristup (Hopp and Spearman 2000)

Terminski plan kod JIT pristupa upravljanju procesima rada može postojati u montaži i biti početak upravljanja putem kanban kartica. Prilikom promene tipa predmeta rada na tehnološkom sistemu dolazi do pojave pripremno-završnog vremena. U tom slučaju mogu postojati redosledi promena i podešavanja alata, na primer sve dok postoje kanban kartice za odgovarajući predmet rada vrši se njegova proizvodnja, a nakon toga se promena alata vrši prema uspostavljenom redosledu i zatim se obrađuje sledeći tip predmeta rada sve dok postoje kanban kartice za njega (Krieg 2003). Ukoliko se proizvodnja odvija u više sukcesivnih faza obrade, gde izlaz iz jedne faze predstavlja ulaz u drugu, tada se pored uslova postojanja aktivnih kanbana, za zamenu alata može dodati i uslov postojanja ulaznih materijala ili delova (kako bi se proizvodnja mogla obavljati) (Krieg 2003).

Broj kanban kartica se može izračunati prema formuli (Schroeder 1993):

$$n = \frac{DT}{C} \quad (3.1)$$

n – broj kanban kartica
D – prosečan zahtev po jedinici vremena
T – vreme potrebno da kontejner izvrši ceo ciklus (od punjenja, čekanja, transporta i upotrebe do vraćanja na ponovno punjenje)
C – kapacitet kontejnera

Broj kanban kartica je bitno odrediti iz razloga što utiče na protok predmeta rada i nivo zaliha u toku procesa proizvodnje. Broj kanban kartica pomnožen sa brojem transportnih kontejnera daje maksimalnu količinu zaliha u proizvodnom sistemu, te je stoga cilj smanjiti broj kanban kartica (na primer skraćanjem vremena izrade predmeta rada ili skraćanjem pripremno-završnih vremena).

Osnovna pravila prilikom rada sistema upravljanim putem kanban kartica su (Hirano 2009):

- tehnološki sistemi uvek povlače predmete rada od tehnoloških sistema koji im prethode u proizvodnom procesu;
- tehnološki sistemi uvek proizvode ono što povučeno od strane ostalih tehnoloških sistema koji slede u procesu proizvodnje;
- potrebno je proizvoditi predmete rada bez defekata;
- kanban kartice takođe treba se kreću sa predmetima rada radi vizuelne kontrole i
- koristiti kanban kartice i za poboljšanje procesa rada.

Primena upravljanja proizvodnjom putem kanban kartica nije potpuno efikasna bez odgovarajućeg načina organizovanja proizvodnje. Uspešno upravljanje putem kanban kartica zavisi od primene grupne tehnologije nad predmetima rada i tehnološkim sistemima (proizvodnja sličnih predmeta rada u okviru proizvodnih ćelija što smanjuje pripremno-završna vremena i vreme transporta predmeta rada), kao i ostalih elemenata JIT sistema (kratak planski period, proizvodnja bez defekata, eliminacija zaliha u sistemu, pouzdanost dobavljača, uravnoteženje opterećenja proizvodnih kapaciteta, kontinualna poboljšanja procesa rada od strane zaposlenih itd.).

2.4. IIS-DZ sistem upravljanja proizvodnjom

IIS-DZ sistem upravljanja procesima rada se zasniva na modularnom pristupu. IIS-DZ pristup omogućuje upravljanje procesima rada kroz osam modula (Zelenović 2004):

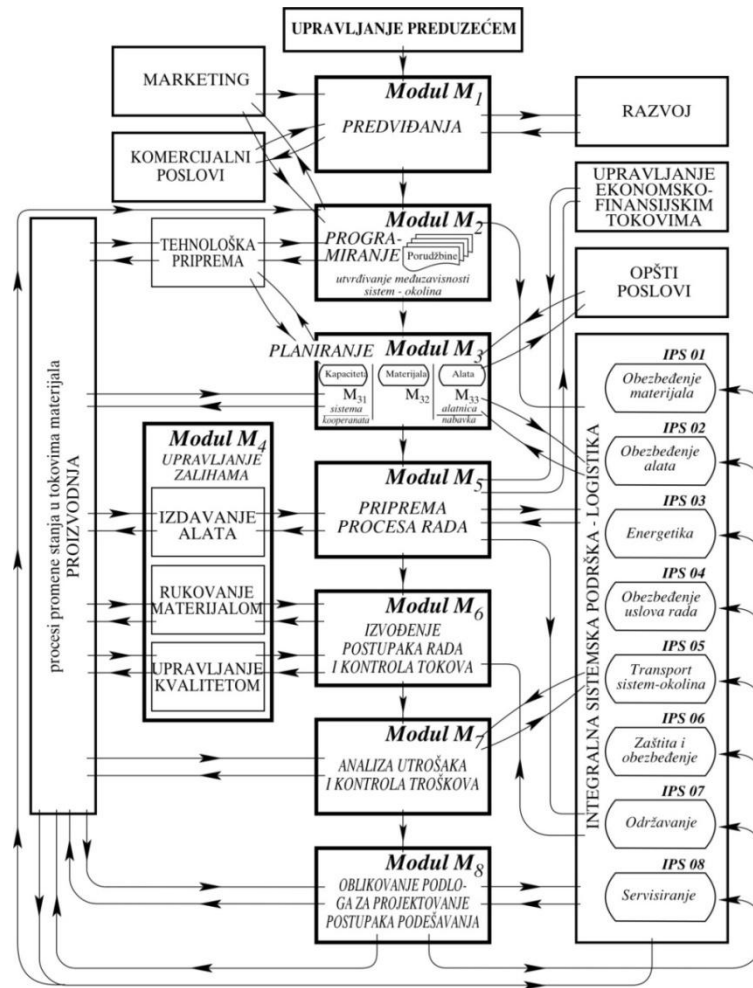
- predviđanje prodaje na osnovu podataka iz prethodnih vremenskih perioda;
- programiranje – utvrđivanje međuzavisnosti sistem-okolina, odnosno utvrđivanje ulaznih veličina operativnog plana i analiza odnosa opterećenje-kapacitet, analiza resursa materijala, alata, učesnika u procesima rada, energenata i obrtnih sredstava;
- planiranje potrebnih kapaciteta, materijala, alata i provera operativne gotovosti učesnika u procesima rada, energenata i obrtnih sredstava;
- upravljanje zalihama materijala, nedovršene proizvodnje i gotovih proizvoda u proizvodnom sistemu;
- priprema procesa rada u smislu izrade nosilaca informacija za izvođenje procesa rada i kontrolu tokova, provere stanja pripreme materijala, provere stanja pripreme alata i dostavljanja skupova nosilaca informacija u izdavaonice naloga radnih jedinica;
- izvođenje postupaka rada i kontrola tokova koji obuhvataju postupke ulaza operativnog plana u radnu jedinicu, proveru stanja elemenata radnih jedinica, raspodelu naloga – ekonomično opterećenje radnih mesta, izuzimanje materijala, izuzimanje alata, izvođenje procesa rada – izdvajanje podataka o stanju, kontrolu tokova u procesu rada i pripremu podloga za postupke analize utrošaka i kontrole troškova u procesu rada;
- analiza postupaka promene stanja na osnovu skupova podataka planiranih (projektovanih) veličina i podataka dobijenih putem nosilaca informacija iz proizvodnog sistema i

- oblikovanje podloga za projektovanje postupaka podešavanja sistema (podešavanje tehnoloških i proizvodnih struktura sistema, podešavanje strukture rada, podešavanje stepena složenosti proizvoda i postupaka rada, podešavanje elemenata režima i vremena trajanja postupaka rada, podešavanje nivoa nedovršene proizvodnje, podešavanje profila opterećenja, motivacija i vrednovanje rada i podešavanje organizacione strukture radnog sistema).

IIS-DZ sistem upravljanja je nastao iz iskustava primene kanban sistema. Primena grupne tehnologije poseban uticaj ima na module za planiranje procesa rada, pripremu procesa rada, izvođenje i kontrolu tokova i analizu tokova procesa rada. Prilikom planiranja procesa rada, na osnovu utvrđenog operativnog plana za odgovarajući planski period, razmatra se obrada predmeta rada u grupama i njihova kasnija montaža (Zelenović 2004).

Grupisanje predmeta rada se vrši putem klasifikacije predmeta rada primenom APOPS postupka (Zelenović et al. 1986), koji je ranije prikazan u poglavlju 3. Primenom grupne tehnologije se nastoji umanjiti uticaj pripremno završnih vremena. Za radne naloge se utvrđuje optimalan redosled ulaska. Za grupu predmeta rada se izrađuje grupni radni nalog koji sadrži sve predmete rada koji pripadaju odgovarajućoj grupi. Za svaki predmet rada iz grupnog radnog naloga se izrađuje odgovarajuća ident karta koja prati predmet rada. Veza između grupnog radnog naloga i ident karte može okarakterisati kao odnos jedan prema više, odnosno za jedan grupni radni nalog može postojati više ident karti. Predmeti rada se kreću kroz proces proizvodnje u skladu sa definisanim tehnološkim postupkom.


Na slici 20 je dat prikaz modula i njihova povezanost sa ostalim funkcijama preduzeća. Na slikama 21 i 22 su prikazani grupni radni nalog i ident karta za proizvod ili deo, respektivno.



Slika 20. Moduli za upravljanje procesima rada (Zelenović 2005)

Deo 1 Grupni radni nalog	Oznaka:	Ulaz u proces rada:	Izlaz iz procesa rada:	Planirana količina:
Deo 2 Proizvod/deo Deo 3 Materijal	Oznaka dela	Naziv	Oznaka crteža	Oznaka materijala
Deo 4 Struktura „-j” delova u nalogu				
Deo 5 Izlazni podaci	RADNI NALOG	Vreme izlaza:	Količina za skladište:	

Slika 21. Grupni radni nalog (Zelenović 2004)

Deo 1 Radni nalog	Oznaka	Ulaz u proces rada		Izlaz iz procesa rada		Planirana količina				
Deo 2 Proizvod/deo	Oznaka	Naziv				Oznaka crteža				
Deo 3 Materijal	Oznaka	Dimenzije	Jedinica mere	Količina						
				Po jedinici			Po radnom nalogu			
Deo 4 Postupak rada	Operacija			Radna jedinica		Vreme rada		Ostvarena količina		
	Oznaka	Opis	Alat	Oznaka	Radno mesto	t_{pz}	t_{ij}	[+]	[-]	Overa
Deo 5 Izlazni podaci	IDENT KARTA			Vreme izlaza		Količina za skladište				

Slika 22. Ident karta (Zelenović 2004)

Radni nalozi se izvršavaju u odgovarajućim intervalima operativnog plana, pri čemu se fleksibilnost operativnog plana obezbeđuje minimizovanim pripremno-završnim vremenima i kratkim delovima operativnog plana (Zelenović 2004). Pored radnog naloga i ident karti, takođe se koristi i radna lista za kontrolu toka procesa. Na slici 23 je dat prikaz izvršavanja operativnog plana po intervalima.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ciklus 5		P	O	MS	M	PL					
Ciklus 6			P	O	MS	M	PL				
Ciklus 7				P	O	MS	M	PL			
Ciklus 8					P	O	MS	M	PL		
Ciklus 9						P	O	MS	M	PL	

Slika 23. Izvršavanje operativnog plana po intervalima (P - priprema, O- obrada, MS- međuskladište, M- montaža, PL- plasman) (Zelenović 2004)

Analiza i podešavanje procesa rada se vrše na osnovu prethodno navedene upravljačko-tehničke dokumentacije i definisanih normativa.

2.5. Poređenje karakteristika sistema za planiranje i upravljanje proizvodnjom

U prethodnim delovima poglavlja navedeni su sistemi za planiranje i upravljanje procesima rada u industrijskim proizvodnim sistemima, kao i neke osnovne karakteristike svakog sistema kada je u pitanju upravljanje proizvodnjom organizovanom prema

principima grupne tehnologije. Sistemi za planiranje i upravljanje proizvodnjom se razlikuju u određenoj meri u pogledu karakteristika poput trenutka puštanja radnih naloga za proizvodnju, vremena trajanja ciklusa proizvodnje i kompleksnosti upravljanja, međutim odgovarajući problemi poput pripremno-završnih vremena ili uskih grla u procesu proizvodnje su zajednički za sve sisteme. Primena grupne tehnologije i ćelijskog načina organizovanja procesa rada može doneti koristi u smislu poboljšanja određenih karakteristika sistema za planiranje i upravljanje proizvodnjom ali može zahtevati i odgovarajuće izmene sistema.

PBC sistem omogućuje da se prijem porudžbina vrši u okviru definisanog vremenskog perioda P za odgovarajuće faze obrade i montaže. Primljene porudžbine imaju identična vremena puštanja radnih naloga u proces proizvodnje. Svi poručeni proizvodi imaju identično vreme trajanja ciklusa proizvodnje, kao i delovi koji ulaze u sastav tih proizvoda. Glavna karakteristika PBC sistema u odnosu na ostale jeste jednostavnost upravljanja procesima rada. Svaka faza obrade ili montaže može sadržati jednu ili više proizvodnih ćelija. Definisanjem faza obrade ili montaže sa fiksnim periodom trajanja omogućeno je jednostavno praćenje i upravljanje proizvodnim procesom. Ključno pitanje u primeni PBC sistema jeste odabir dužine planskog perioda, te kako dužina perioda zavisi u velikoj meri od opterećenja proizvodnih kapaciteta, to je primena grupne tehnologije veoma bitna za primenu ovog sistema planiranja i upravljanja procesima rada (zbog skraćivanja pripremno-završnih vremena).

MRP sistem omogućuje različita vremena trajanja ciklusa proizvodnje za porudžbine. Primljene porudžbine mogu imati različita vremena lansiranja naloga u proces proizvodnje. MRP sisteme karakteriše kompleksnost te se u velikoj meri oslanjaju na primenu računara. Primenom grupne tehnologije potrebno je voditi računa o gubitku odgovarajućih nivoa iz strukture sastavnica proizvoda te i o gubitku odgovarajućih MRP zapisa. Takođe, primena grupne tehnologije i proizvodnih ćelija može dovesti do skraćivanja vremena trajanja ciklusa proizvodnje i uticati na skraćivanje perioda predviđanje prodaje kod MRP sistema.

JIT odnosno Kanban sistem karakteriše, slično kao kod MRP sistema, različito vreme puštanja radnih naloga za proizvodnju. Razlika u odnosu na ostale sisteme jeste da se upravljanje proizvodnjom ne zasniva na unapred pripremljenom terminskom planu, već na potrebi za montažom ili proizvodnjom određenog proizvoda što uzrokuje montažu i proizvodnju odgovarajućih proizvoda, sklopova, podsklopova i delova. Sistem je

najefikasniji kada se proizvodnja vrši komad-po-komad odnosno u slučaju kada postoji minimum nedovršene proizvodnje usled kontinualnog toka procesa rada.

IIS-DZ prilaz karakteriše modularni prilaz upravljanju pri čemu se utvrđuje operativni planski period (npr. mesec dana) koji se može podeliti na kraće intervale (npr. 1, 2 i 4 nedelje). Puštanje grupnih radnih naloga i pratećih ident karti u proces proizvodnje se vrši za operacijsku grupu utvrđenu na osnovu sistema klasifikacije. Radni nalozi se u okviru odgovarajućeg vremenskog intervala terminiraju prema najpovoljnijem redosledu ulaska u proces rada. Podela vremenskog intervala operativnog plana omogućuje veću fleksibilnost u realizaciji porudžbina, smanjenu nedovršenu proizvodnju i olakšano određivanje redosleda ulaska radnih naloga.

Poređenjem navedenih karakteristika sistema upravljanja procesima rada može se izvesti nekoliko u nastavku navedenih zaključaka.

MRP sistem nije inicijalno projektovan za grupnu tehnologiju u smislu da se predmeti rada proizvode u različitim vremenskim periodima što može uzrokovati varijacije u opterećenju tehnoloških sistema (Burbidge 1988). Varijacije u opterećenju tehnoloških sistema grupama predmeta rada se nastoje rešiti primenom istog planskog perioda za radne naloge što je karakteristika PBC sistema. MRP sistem se u velikoj meri zasniva na primeni informacionih tehnologija što ga je vremenom učinilo široko zastupljenim u proizvodnim sistemima.

Fleksibilnost u pogledu realizacije porudžbina se obezbeđuje skraćanjem vremena operativnog planskog perioda i primenom grupne tehnologije što su karakteristike koje se pojavljuju u JIT, PBC i IIS-DZ prilazima upravljanju. Kako MRP nije bio predviđen za primenu grupne tehnologije, to može dovesti do držanja kapitala u zalihama i dugačkih vremena trajanja ciklusa proizvodnje (Burbidge 1985).

Kanban i PBC sisteme karakteriše manji broj parametara o kojima je potrebno odlučivati u odnosu na MRP (Riezebos 2001). S druge strane, sistem upravljanja putem kanban kartica zahteva odgovornost od strane svih zaposlenih kao i visok nivo kvaliteta procesa rada (proizvodnja bez defekata). Formiranje dugoročnih odnosa sa dobavljačima je karakteristika PBC (zbog periodične prirode upravljanja proizvodnjom) i kanban sistema (zbog eliminisanja zaliha potrebnih materijala, odnosno dostavljanja istih upravo-na-vreme).

Odluka za odabir sistema za planiranje i upravljanje proizvodnjom se razlikuje za različite uslove i mogućnosti izvođenja procesa rada u okviru proizvodnog sistema. U uslovima organizovanja proizvodnje prema principima grupne tehnologije sistem za planiranje i upravljanje procesima rada mora biti projektovan tako da omogući dobru koordinaciju poslova, ujednačenost opterećenja kapaciteta tehnoloških sistema grupama predmeta rada, minimalno vreme trajanja ciklusa proizvodnje, minimalno pripremno-završno vreme i optimalnu veličinu serije predmeta rada. MRP sistemi su u široj upotrebi od ostalih sistema (zbog upotrebe u ERP sistemima), međutim sistemi poput PBC, IIS-DZ ili kanban odnosno JIT sistema svakako imaju svojih prednosti u odnosu na MRP sistem jer su projektovani u skladu sa principima grupne tehnologije, te predstavljaju adekvatnu alternativu u području planiranja i upravljanja procesima rada.

U narednom delu poglavlja se prikazuje analiza istraživanja u oblasti planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama.

3. Analiza prethodnih istraživanja prilaza planiranju i upravljanju virtuelnim proizvodnim ćelijama

Istraživanja na temu planiranja i upravljanja logičkom (virtuelnom) organizacijom proizvodnim ćelija se mogu svrstati u dve kategorije:

- istraživanja koja razmatraju samo određeni aspekt poput terminiranja poslova optimizacije iskorištenja resursa, rešavanja problema deljenja proizvodnih resursa i smanjenja pripremno-završnih vremena i
- istraživanja koja predlažu upotrebu odgovarajućeg sistema planiranja i upravljanja proizvodnjom ili odgovarajućih principa iz tih sistema.

Prva grupa istraživanja obuhvata više objavljenih radova. U radu (Altom 1978) je prikazano da su virtuelne proizvodne ćelije uvedene u proizvodni proces sa ciljem smanjenja pripremno završnih vremena, optimizovanja iskorištenja alata i poboljšanja procesa realizacije porudžbina kupaca. Kao što je već navedeno u odeljku 1.3 za grupisanje predmeta rada korišten je sistem klasifikacije i kodiranja, dok tehnološki sistemi nisu premeštani sa svojih mesta tokom dodele grupa predmeta rada. Nadzor i upravljanje tokovima materijala u proizvodnom procesu vrši grupni koordinator (Altom 1978).

U radu (McLean, Bloom, and Hopp 1982) autori navode da se upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama mora vršiti na tri hijerarhijska nivoa. Prvi nivo je nivo analize povratnih informacija i izveštaja tokom procesa rada u virtuelnoj proizvodnoj ćeliji.

Povratne informacije i izveštaji sadrže podatke o trenutnom stanju započetih poslova, stanju tehnoloških sistema i učesnika u procesima rada itd. Na osnovu ovih povratnih informacija moguće je kreirati informacije koje će uticati na sledeći hijerarhijski nivo. Drugi nivo je nivo terminiranja poslova odnosno radnih naloga za virtuelnu proizvodnu ćeliju na osnovu informacija kreiranih na nivou analize. Treći nivo je puštanje radnih naloga i nadzor odnosno kontrola njihovog izvršavanja u okviru virtuelne proizvodne ćelije.

Istraživanje objavljeno u radu (McLean, Bloom, and Hopp 1982) je dalo za rezultat radove u kojima su virtuelne proizvodne ćelije prepoznate kao prilaz organizovanju proizvodnih sistema, poput radova (Montreuil, Drolet, and Lefrancois 1992) i (Rheault, Drolet, and Abdalnour 1995).

U radu (Flynn and Jacobs 1986; Flynn and Jacobs 1987) autori prikazuju simulacione studije terminiranja grupa predmeta rada u proizvodnom pogonu koji nije u potpunosti organizovan putem klasičnih proizvodnih ćelija, odnosno postoje delovi proizvodnog pogona u kojima su tehnološki sistemi organizovani procesno. Autori su u svojim istraživanjima došli do rezultata da procesna organizacija daje bolje rezultate u pogledu realizacije porudžbina kupaca. Iako se ova istraživanja ne odnose direktno na planiranje i upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama, saznanja do kojih su autori došli su bitna za oblast istraživanja virtuelnih proizvodnih ćelija. U radu (Flynn 1987) se nastavlja istraživanje na ovu temu, ispitivanjem određene procedure terminiranja poslova u proizvodnji sa klasičnim proizvodnim ćelijama i u procesno organizovanoj proizvodnji. Rezultati pokazuju da procesna organizacija kombinovana sa pravilima terminiranja i smanjenjem pripremno-završnih vremena daje mnogo bolje rezultate u odnosu na klasične proizvodne ćelije.

U radu (Wemmerlov and Hyer 1989) autori prikazuju empirijsko istraživanje upotrebe virtuelnih proizvodnih ćelija u proizvodnim sistemima. Autori se u istraživanju koriste deskriptivnom statistikom za opis rezultata dobijenih putem upitnika. Rezultati pokazuju da proizvodni sistemi u kojima je implementirana grupna tehnologija imaju velike troškove dislokacije tehnoloških sistema i iz tog razloga određeni tehnološki sistemi ostaju na svojim mestima, a određeni tehnološki sistemi su dislocirani radi formiranja klasičnih proizvodnih ćelija. U većini slučajeva proizvodnja se odvija u hibridnom sistemu, upotrebom i klasičnih i virtuelnih proizvodnih ćelija. Slični rezultati su dobijeni u radu (Hyer and Brown 1999) gde su korišteni podaci iz 15 sprovedenih studija slučaja iz

industrije proizvodnje čelika, kao i u radu (Wemmerlov and Johnson 2000) gde su korišteni podaci dobijeni iz metalske industrije.

Irani, Kavalier i Kohen u radu (Irani, Cavalier, and Cohen 1993) se koriste podacima o tokovima materijala kako bi kreirali virtuelne proizvodne ćelije, pri čemu su izvršili premeštanje određenih tehnoloških sistema radi lakšeg upravljanja deljenim resursima koji su potrebni za proizvodnju kreiranih grupa predmeta rada.

U radu (Moodie et al. 1994) se prikazuje upravljački okvir za terminiranje poslova upotrebom virtuelnih proizvodnih ćelija gde se svaki posao terminira kroz jednu virtuelnu proizvodnu ćeliju. Slična istraživanja su objavljena u radovima (Sarker and Li 2001), (Thomalla 2000) i (Mak and Wang 2002). U radu (Suresh and Meredith 1994) se prikazuje terminiranje grupa predmeta rada u procesno organizovanoj proizvodnji i poređenje performansi procesno organizovane proizvodnje sa postavkom tehnoloških sistema putem klasičnih proizvodnih ćelija. Tehnološki sistemi grupisani u procesno organizovanoj proizvodnji daju bolje rezultate od klasičnih proizvodnih ćelija.

U radovima (Kannan and Ghosh 1996a), (Kannan and Ghosh 1996b), (Kannan 1997) i (Kannan 1998) se prikazuju istraživanja u pogledu terminiranja grupa predmeta rada. U istraživanjima terminiranje se vrši u procesno organizovanim proizvodnim sistemima, pri čemu se tehnološki sistemi grupišu u virtuelne proizvodne ćelije. U radu (Kannan and Ghosh 1996a) se prikazuje istraživanje performansi procesno organizovane proizvodnje, proizvodnje organizovane putem klasičnih proizvodnih ćelija i proizvodnje organizovane putem dve virtuelne proizvodne ćelije. Izvršena su testiranja sa dva nivoa opterećenja kapaciteta i dva nivoa pripremno-završnih vremena. Virtuelne proizvodne ćelije bolje performanse od procesne organizacije, a procesna organizacija daje bolje performanse od klasičnih proizvodnih ćelija. U radu (Kannan and Ghosh 1996b) se prikazuje testiranje performansi pet virtuelnih proizvodnih ćelija. Autori dolaze do zaključka da, kao i u radu (Kannan and Ghosh 1996a), virtuelne proizvodne ćelije daju bolje performanse. Slični rezultati su dobiveni i u radovima (Kannan 1997) i (Kannan 1998). Poređenje performansi između virtuelnih proizvodnih ćelija, klasičnih proizvodnih ćelija i procesnog odnosno funkcionalnog razmeštaja, u slučaju kada postoje ograničenja resursa (tehnološki sistemi i učesnici u procesima rada), se prikazuje i u radu (Suresh and Slomp 2005) kao što je već navedeno u odeljku 1.3. Autori dolaze do zaključka da virtuelne proizvodne ćelije daju bolje rezultate od ostalih konfiguracija proizvodnog sistema, osim u slučaju kada je broj predmeta rada u serijama mali i tada klasične proizvodne ćelije daju najbolje rezultate.

U radu (Kühling 1998) se daje istraživanje primene virtuelnih proizvodnih ćelija u livnici. U preduzeću se vrši dodela učesnika u procesima rada odgovarajućim grupama predmeta rada. Tako kreirani timovi su odgovorni za terminiranje radnih naloga za grupe predmeta rada koje su im dodeljene. Timovi učesnika u procesima rada su nazvani virtuelnim timovima. Usko grlo koje se odnosi na raspoložive kapacitete tehnoloških sistema se rešava u okviru sistema za planiranje i upravljanje proizvodnjom. U radu (Mertins, Friedland, and Rabe 2000) se razmatra sličan problem deljenja raspoloživih kapaciteta tehnoloških sistema i rešava se na način da svaki virtuelni tim ima pristup raspoloživom kapacitetu na cirkularnoj osnovi (*engl. turn-by-turn basis*).

U radu (Vakharia, Moily, and Huang 1999) autori vrše planiranje organizacije proizvodnje putem virtuelnih proizvodnih ćelija na način da se virtuelne proizvodne ćelije primenjuju samo u određenoj fazi procesa proizvodnje gde postoji potreba za deljenjem resursa između grupa predmeta rada, dok se ostale faze procesa proizvodnje organizuju putem klasičnih proizvodnih ćelija. Krajnji rezultat je skraćenje vremena trajanja ciklusa proizvodnje.

U radu (Subash, Nandurkar, and Thomas 2000) autori predlažu prilaz za kreiranje, razvoj i rad virtuelnih proizvodnih ćelija u malim i srednjim preduzećima. Prilaz sadrži nekoliko softverskih modula koji omogućuju kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija primenom metoda za kreiranje familija predmeta rada i grupa tehnoloških sistema. Donosiocu odluke se prezentuju različite alternative za izbor konfiguracije virtuelne proizvodne ćelije koje se mogu evaluirati i tako doneti odgovarajuća upravljačka odluka.

Račev u istraživanju objavljenom u radu (Ratchev 2001) prikazuje model kreiranja virtuelnih proizvodnih ćelija koji omogućuje donošenje planskih odluka koje uzimaju u obzir procenu uticaja projektovanja predmeta rada i njihovih obradnih zahteva.

U radu (Sarker and Li 2001) autori prezentuju algoritam za terminiranje radnih naloga u virtuelnim proizvodnim ćelijama. Operacije rada iz radnih naloga se realizuju prema tehnološkom postupku, a tehnološki sistemi koji čine virtuelnu proizvodnu ćeliju se biraju izborom prema kriterijumima najkraćeg vremena obrade predmeta rada i najkraće putanje toka materijala za predmete rada. U istraživanju objavljenom u radu (Thomalla 2000) autor prikazuje sličan problem ali sa ciljem minimizovanja vremena čekanja predmeta rada na obradu.

U radu (Saad, Baykasoglu, and Gindy 2002) autori prikazuju integrisani pristup planiranju proizvodnje i projektovanju virtuelnih proizvodnih ćelija kroz nekoliko faza:

- u prvoj fazi se postavljaju inicijalne konfiguracije ćelija.
- u drugoj fazi se proverava opterećenje kapaciteta tehnoloških sistema virtuelnih proizvodnih ćelija u odnosu na primljene porudžbine kupaca i
- u trećoj fazi se vrši rekonfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija ukoliko se u drugoj fazi pokaže da je opterećenje tehnoloških sistema virtuelnih proizvodnih ćelija veće od kapaciteta.

U istraživanju objavljenom u radu (Prince and Kay 2003) se predlaže koncept tzv. virtuelnih grupa tehnoloških sistema odnosno virtuelnih proizvodnih ćelija u procesnoj proizvodnji. Tehnoloških sistemi ostaju na svojim lokacijama. Virtuelne grupe omogućuju primenu koncepta LEAN proizvodne filozofije za različite faze obrade u okviru proizvodnog procesa. Umesto nadzora odgovarajućeg procesa rada sada se nadzire proizvodnja grupe predmeta rada. Određuje se učesnik u procesima rada koji je odgovoran za proizvodnju grupe predmeta rada i kojem se dodeljuju odgovarajući tehnološki sistemi i tim učesnika u procesima rada koji tu proizvodnju realizuju.

Ko i Egbelu u radu (Ko and Egbelu 2003) formiraju algoritam za kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija kako bi se odgovorilo na promene u proizvodnom miksu. Grupe predmeta rada se dodeljuju virtuelnim proizvodnim ćelijama i poslovi se izvršavaju prema redosledu operacija rada.

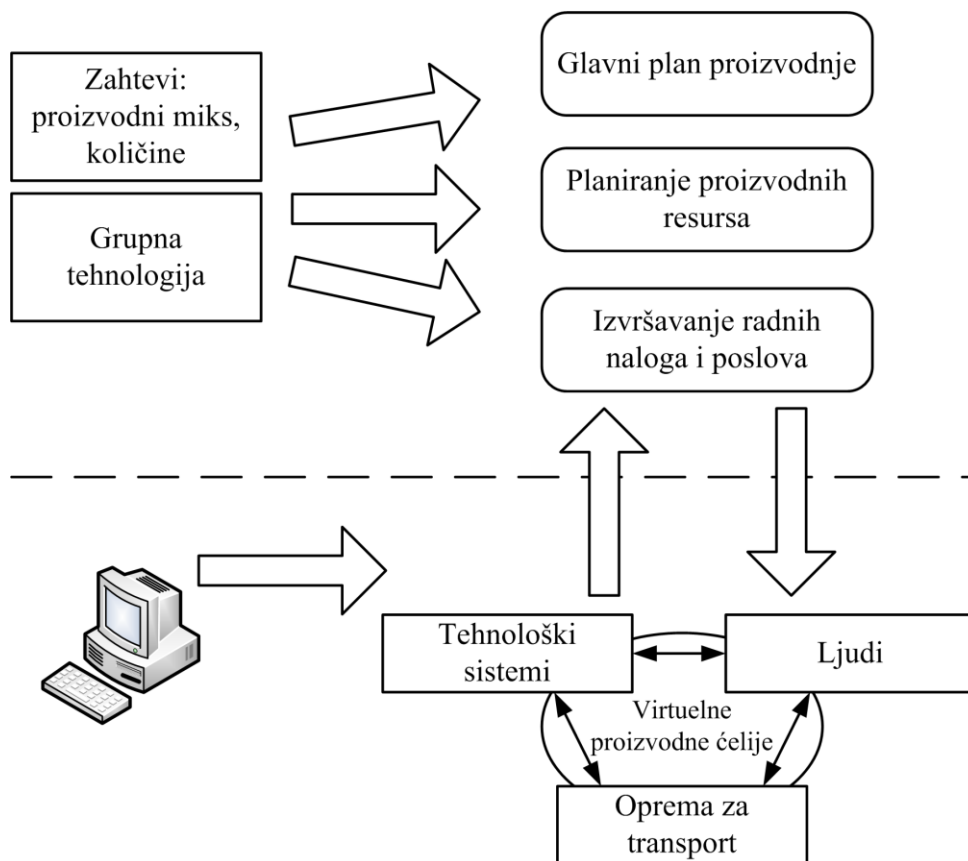
U radu (Slomp, Chowdary, and Suresh 2005) autori predlažu formiranje virtuelnih proizvodnih ćelija periodično, odnosno u planskim periodima koji mogu biti na mesečnom nivou ili nedeljnom nivou, kako bi se preduzeće bilo fleksibilnije u pogledu realizacije različitih porudžbina proizvoda iz proizvodnog miksa. Autori prvo vrše grupisanje predmeta rada i tehnoloških sistema, a zatim se tim grupama dodeljuju učesnici u procesima rada.

Prema rezultatima istraživanja objavljenog u radu (Nomden, Slomp, and Suresh 2005), implementacija virtuelnih proizvodnih ćelija u proizvodnom sistemu može biti dugoročna (vezivanjem za nivo glavnog plana proizvodnje u strukturi planskog i upravljačkog sistema), srednjeročna (vezivanjem za nivo planiranja resursa u strukturi planskog i upravljačkog sistema) i kratkoročna (vezivanjem za konkretne radne naloge u strukturi planskog i upravljačkog sistema). Primena može da obuhvati

relativno stabilne konfiguracije virtuelnih proizvodnih ćelija kada se one primenjuju na duži vremenski period, a takođe može da obuhvati i dinamičke konfiguracije virtuelnih proizvodnih ćelija koje postoje samo tokom izvršavanja određenih poslova odnosno određenih radnih naloga u proizvodnji. Sa slike 24 se vidi da je za planiranje i upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama ključna koordinacija između tri grupe proizvodnih resursa (Nomden, Slomp, and Suresh 2005):

- tehnološki sistemi,
- transportna oprema i
- radnici odnosno učesnici u procesima rada.

U tabeli 3 su klasifikovana prethodno navedena istraživanja u oblasti virtuelnih proizvodnih ćelija sa aspekta njihove implementacije u različitim nivoima strukture planskog i upravljačkog sistema, kao i upotrebe odgovarajućih resursa (tehnološki sistemi, ljudi odnosno učesnici u procesima rada i oprema za transport predmeta rada između tehnoloških sistema).



Slika 24. Klasifikacioni okvir za virtuelne proizvodne ćelije (Nomden, Slomp, and Suresh 2005)

Tabela 3. Pregled istraživanja u oblasti virtuelnih proizvodnih ćelija i njihove implementacije u različitim nivoima strukture planskog i upravljačkog sistema (Nomden, Slomp, and Suresh 2005)

Referenca za naučni rad, poglavlje ili knjiga u kojem je istraživanje objavljeno	Resursi za formiranje virtuelnih proizvodnih ćelija	Nivo u strukturi sistema za planiranje i upravljanje proizvodnjom u kojem su implementirane virtuelne proizvodne ćelija
(Altom 1978)	Tehnološki sistemi	Glavni plan proizvodnje
(Drolet, Abdounour, and Rheault 1996)	Tehnološki sistemi / Transportna oprema	-
(Flynn 1987)	Tehnološki sistemi	Glavni plan proizvodnje/ Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Flynn and Jacobs 1986)	Tehnološki sistemi	Glavni plan proizvodnje/ Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Flynn and Jacobs 1987)	Tehnološki sistemi	Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Hyer and Brown 1999)	Tehnološki sistemi / Ljudi	Glavni plan proizvodnje
(Irani, Cavalier, and Cohen 1993)	Tehnološki sistemi / Transportna oprema	Glavni plan proizvodnje
(Kannan 1997)	Tehnološki sistemi	Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Kannan 1998)	Tehnološki sistemi	Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Kannan and Ghosh 1995)	Tehnološki sistemi	Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Kannan and Ghosh 1996a)	Tehnološki sistemi	Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Kannan and Ghosh 1996b)	Tehnološki sistemi	Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Ko and Egbelu 2003)	Tehnološki sistemi	Planiranje proizvodnih resursa
(Kühling 1998)	Tehnološki sistemi / Ljudi	Glavni plan proizvodnje/ Planiranje proizvodnih resursa
(Mak and Wang 2002)	Tehnološki sistemi / Transportna oprema	Glavni plan proizvodnje/ Izvršavanje radnih naloga i poslova
(McLean, Bloom, and Hopp 1982)	Tehnološki sistemi	Planiranje proizvodnih resursa
(Mertins, Friedland, and Rabe 2000)	Tehnološki sistemi / Ljudi	Glavni plan proizvodnje/ Planiranje proizvodnih resursa
(Montreuil, Drolet, and Lefrancois 1992)	Tehnološki sistemi / Transportna oprema	Planiranje proizvodnih resursa / Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Moodie et al. 1994)	Tehnološki sistemi / Transportna oprema	Planiranje proizvodnih resursa / Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Prince and Kay 2003)	Tehnološki sistemi / Ljudi	Glavni plan proizvodnje
(Ratchev 2001)	Tehnološki sistemi / Transportna oprema	Planiranje proizvodnih resursa
(Rheault, Drolet, and Abdounour 1995)	Tehnološki sistemi	Planiranje proizvodnih resursa / Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Saad, Baykasoglu, and Gindy 2002)	Tehnološki sistemi / Transportna oprema	Planiranje proizvodnih resursa
(Sarker and Li 2001)	Tehnološki sistemi / Transportna oprema	Planiranje proizvodnih resursa / Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Slomp, Chowdary, and Suresh 2005)	Tehnološki sistemi / Ljudi	Planiranje proizvodnih resursa / Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Subash, Nandurkar, and Thomas 2000)	Tehnološki sistemi	Glavni plan proizvodnje/ Planiranje proizvodnih resursa
(Suresh and Meredith 1994)	Tehnološki sistemi	Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Suresh and Slomp 2005)	Tehnološki sistemi / Ljudi	Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Thomalla 2000)	Tehnološki sistemi / Transportna oprema	Planiranje proizvodnih resursa / Izvršavanje radnih naloga i poslova
(Vakharia, Moily, and Huang 1999)	Tehnološki sistemi	Glavni plan proizvodnje
(Wemmerlov and Hyer 1989)	Tehnološki sistemi / Ljudi	Glavni plan proizvodnje
(Wemmerlov and Johnson 2000)	Tehnološki sistemi / Ljudi	Glavni plan proizvodnje

U radu (Mak et al. 2007) autori prezentuju algoritam za projektovanje virtuelnih proizvodnih ćelija i terminiranje poslova. U istraživanju se razmatra matematički model koji opisuje karakteristike virtuelnih proizvodnih ćelija i koji uključuje ograničenja poput roka isporuke gotovih proizvoda, maksimalnih kapaciteta tehnoloških sistema i raspoloživosti alata. Terminski plan se dobija primenom algoritma za terminiranje poslova upotrebom metode optimizacije kolonijom mrava. Algoritam je testiran na podacima iz kineske fabrike za proizvodnju komponenti motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Rezultati pokazuju da virtuelne proizvodne ćelije imaju bolju prosečnu iskorišćenost tehnoloških sistema i kraći period kompletiranja gotovih proizvoda.

Nomden i van der Zi u radu (Nomden and van der Zee 2008) objavljuju istraživanje u kojem se razmatra upravljačka odluka o opravdanosti dodatnih investicija u proizvodne sisteme (u smislu rekonfigurisanja tehnoloških sistema, nabavke dodatnih alata i pribora itd.) u kojima se proizvodnja već odvija putem virtuelnih proizvodnih ćelija, kako bi se dobilo na fleksibilnosti terminiranja poslova. Autori u okviru svog istraživanja koriste računarsku simulaciju za sprovođenje eksperimenata i dolaze do zaključka da dodatno ulaganje u proizvodni sistem daje različite rezultate od slučaja do slučaja (na primer, u jednom slučaju dodatni tehnološki sistemi opravdavaju svoju investiciju, dok u drugom upotreba više tehnoloških sistema uzrokuje velika pripremno završna vremena što smanjuje performanse sistema).

U radu (Mahdavi et al. 2009) autori opisuju matematički model za planiranje procesa proizvodnje u uslovima kada je proizvodnju potrebno organizovati putem virtuelnih proizvodnih ćelija. Model koristi linearno programiranje za planiranje proizvodnje u više perioda, dinamičku rekonfiguraciju sistema, kapacitete tehnoloških sistema, dostupno vreme učesnika u procesima rada i njihovu dodelu radnim zadacima sa ciljem da se minimizuju troškovi.

U radu (Kesen, Das, and Güngör 2010) autori primenjuju genetski algoritam za terminiranje poslova koji se izvršavaju u okviru virtuelnih proizvodnih ćelija, u kojima se osnovne upravljačke odluke odnose na određivanje poslova koji se izvršavaju na tehnološkim sistemima i na određivanje vremena početaka poslova na odgovarajućem tehnološkom sistemu.

Sličnu problematiku kao u radu (Mahdavi et al. 2009) razmatraju i Hamedi i dr. u radu (Hamedi et al. 2012b), gde se resursi poput učesnika u procesima rada i tehnoloških sistema terminiraju upotrebom metoda veštačke inteligencije.

Upotreba odgovarajućeg sistema planiranja i upravljanja proizvodnjom ili odgovarajućih principa iz tih sistema obuhvata nekoliko istraživanja, iako je njihov broj manji od istraživanja koja pripadaju prvoj grupi. Drolet se u doktorskoj disertaciji (Drolet 1989) bavi terminiranjem poslova u okviru virtuelnih proizvodnih ćelija upotrebom principa iz MRP sistema, odnosno terminira se svaka porudžbina posebno, međutim ne prikazuje primenu celupnog MRP sistema. Severino i dr. u radu (Severino et al. 2010) razmatraju upotrebu PBC sistema za upravljanje proizvodnjom u proizvodnji kapitalnih dobara. U radu se predlaže da se jedna od obradnih faza izvršava putem virtuelnih proizvodnih ćelija, iz razloga što u toj fazi postoje ograničenja u pogledu upotrebe proizvodnih resursa i što postoji velika varijabilnost radnih naloga, međutim autori ne objašnjavaju postupak kreiranja virtuelnih proizvodnih ćelija, ne predstavljaju proračune kapaciteta i terminskih planova, već samo navode virtuelnu ćeliju kao predlog mogućeg rešenja u okviru PBC sistema.

Analizom istraživanja iz tabele 3 se može zaključiti da se virtuelne proizvodne ćelije mogu implementirati na svim nivoima strukture sistema planiranja i upravljanja proizvodnjom. Objavljena istraživanja pokazuju da su se prilikom planiranja virtuelnih proizvodnih ćelija najčešće u obzir uzimali tehnološki sistemi, dok se transportna oprema i ljudi odnosno učesnici u procesima rada javljaju u manjem broju istraživanja. Analizom objavljenih istraživanja nakon 2005. godine može se zaključiti da se metode veštačke inteligencije sve češće koriste za probleme planiranja virtuelnih proizvodnih ćelija i terminiranja poslova odnosno radnih naloga. U odnosu na ranije objavljena istraživanja koja su uglavnom razmatrala tehnološke sisteme prilikom planiranja virtuelnih proizvodnih ćelija, u novijim istraživanjima takođe se razmatraju i učesnici u procesima rada kao ograničeni resurs u proizvodnom sistemu. Kompleksnost problema planiranja i upravljanja procesima rada raste sa uključivanjem učesnika kao resursa u posmatranu problematiku, što objašnjava razlog uvođenja i primene metoda veštačke inteligencije. Pregled istraživanja iz druge grupe pokazuje da se mali broj istraživanja bavio primenom određenog sistema planiranja i upravljanja proizvodnjom za upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama, iako su se određeni sistemi, poput sistema upravljanja periodičnim serijama predmeta rada, pokazali uspešnim u proizvodnim sistemima koji su organizovani prema principima grupne tehnologije.

U narednom delu poglavlja se definišu hipoteze istraživanja doktorske disertacije.

4. Definisanje hipoteza istraživanja

Cilj doktorske disertacije predstavlja razvoj modela planiranja i upravljanja procesima rada za virtuelne proizvodne ćelije, što kategoriše istraživanje u drugu kategoriju prema podeli iz odeljka 3 ovog poglavlja. Sistem upravljanja periodičnim serijama pruža odgovarajuće prednosti u pogledu upravljanja proizvodnim sistemom organizovanim putem grupne tehnologije u odnosu na ostale sisteme planiranja i upravljanja, što je već prikazano u odeljku 2 ovog poglavlja i zbog kojih su ovaj sistem i principi koji važe u okviru njega uzeti kao okvir koji će se koristiti prilikom razvoja modela i sprovođenja istraživanja. U okviru doktorske disertacije se postavljaju dve hipoteze:

- primenom grupne tehnologije moguće je projektovati virtuelne proizvodne ćelije uzimajući u obzir zahteve za planiranje i upravljanje procesima rada i
- potrebno i moguće je definisati modele planiranja i upravljanja procesima rada u virtuelnim proizvodnim ćelijama.

U ovako upravljanoj proizvodnoj sistemu neophodno je razmotriti kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija s jedne i planiranje procesa rada koje obuhvata određivanje dužine planskog perioda i broja faza obrade i montaže s druge strane. Potrebno je definisati modele planiranja i upravljanja procesima rada uzimajući u obzir dinamičku strukturu virtuelnih proizvodnih ćelija i najbolje prakse sistema upravljanja periodičnim serijama. Takođe, potrebno je definisati dokumentaciju za upravljanje proizvodnjom pri čemu će biti uzeti u obzir predlozi definisani u okviru IIS-DZ sistema upravljanja procesima rada.

Uzevši u obzir prethodna teorijska razmatranja i istraživački rad, modeli planiranja i upravljanja procesima rada u virtuelnim proizvodnim ćelijama (prema principima sistema upravljanja periodičnim serijama) treba da obuhvate:

- kreiranje grupa predmeta rada (delova);
- kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija;
- određivanje dužine perioda P;
- određivanje broja faza obrade ili montaže N;
- analizu odnosa opterećenje-efektivni kapacitet;
- izradu terminskih planova proizvodnje;
- simulaciju terminskih planova proizvodnje i njihovu korekciju;
- pripremu, sprovođenje i kontrolu procesa rada i
- podešavanja procesa rada.

U narednom poglavlju je objašnjena metodologija istraživanja, ukratko su opisane studije slučaja sprovedenog istraživanja i postavljena su ograničenja u istraživačkom radu.

IV Metodologija istraživanja

1. Metode i tehnike istraživanja

Za definisanje modela planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama i njihovo ispitivanje u realnim uslovima, u doktorskoj disertaciji su korištene odgovarajuće metode i tehnike, matematički obrasci, računarski programski jezici i odgovarajući računarski softver:

- metoda koeficijenata sličnosti za kreiranje grupa predmeta rada;
- matematički obrazac za izračunavanje opterećenja tehnoloških sistema;
- Gant dijagrami za terminiranje grupa predmeta rada;
- algoritam iz teorije grafova za određivanje virtuelnih proizvodnih ćelija i odgovarajuća softverska podrška za sprovođenje algoritma i
- Simulacioni softver za ispitivanje primene modela i kreiranje simulacionih izveštaja.

Kreiranje grupa predmeta rada izvršeno je na osnovu sličnosti predmeta rada. Sličnost je posmatrana u smislu sličnosti operacija rada koje različiti predmeti rada prolaze tokom procesa proizvodnje. Koeficijenti sličnosti (S_{KL}^P) između predmeta rada su izračunati prema obrascu 4.1 (Irani, Subramanian, and Allam 1999):

$$S_{KL}^P = \frac{N_{KL}^M}{N_{KK}^M + N_{LL}^M - N_{KL}^M} \quad (4.1)$$

N_{KL}^M – broj tehnoloških sistema koji obrađuju
i predmet rada K i predmet rada L,

N_{KK}^M – broj tehnoloških sistema koji obrađuju
predmet rada K,

N_{LL}^M – broj tehnoloških sistema koji obrađuju
predmet rada L.

Koeficijenti sličnosti predstavljaju broj koji se kreće u rasponu od 0 do 1, pri čemu su dva predmeta rada sličniji ukoliko je koeficijent sličnosti bliži broju 1 i obrnuto. Koeficijenti sličnosti se upotrebljavaju u matrici koja za redove i kolone prikazuje predmete rada i njihove međusobne koeficijente sličnosti. Početna konfiguracija matrice je takva da se predmeti rada nalaze u određenom redosledu. Premeštanjem redova i kolona matrice se, u skladu sa vrednošću koeficijenata sličnosti, formiraju grupe predmeta rada između predmeta rada koji međusobno imaju visok koeficijent sličnosti.

Obrazac 4.2 (Zelenović 2004) je korišćen kao osnova za kreiranje obrazaca za proračun opterećenja tehnoloških sistema i vremena trajanja operacija rada za grupe predmeta rada za postavljeni planski period P.

$$n^{(j)} \cdot t_{ii}^{(j)} + t_{pz} \quad (4.2)$$

$n^{(j)}$ – količina j-tog predmeta rada
 $t_{ii}^{(j)}$ – vreme trajanja i-te operacije j-tog predmeta rada na predmetnom tehnološkom sistemu
 t_{pz} – pripremno-završno vreme

Gant dijagrami, opisani u knjizi (Wallace, Polakov, and Trabold 1922), su korišteni za grafički prikaz kreiranih termiskih planova proizvodnje. Grupe predmeta rada mogu imati redni, paralelni ili kombinovani postupak prelaska u toku procesa proizvodnje (Zelenović 2004). Gant dijagrami omogućuju grafički prikaz izvršavanja proizvodnog procesa u vremenu.

Teorija grafova je korištena za prezentaciju tehnoloških sistema i rastojanja između njih putem čvorova i grana grafa. Dijkstra algoritam, opisan u radu (Dijkstra 1959), je korišćen za određivanje najkraće putanje između tehnoloških sistema. Prezentovanje tehnoloških sistema putem povezanog grafa i upotreba pomenutog algoritma omogućuje kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija. Algoritam je detaljnije objašnjen narednom poglavlju, prilikom definisanja modela planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama. Algoritam je sproveden uz pomoć računarskog programskog jezika *Python*¹ i programske biblioteke koda *NetworkX*². Programske klase *NetworkX* biblioteke koda daju mogućnost kreiranja različitih tipova grafova (usmereni i neusmereni grafovi, grafovi sa višestrukim granama između dva čvora), izvršavanje matematičkih algoritama za analizu kreiranih grafova i prikaz rezultata izvršene analize, kao i grafički prikaz kreiranih grafova. Većina programskih metoda putem kojih se pozivaju odgovarajući algoritmi uzimaju kreirani graf ili elemente kreiranog grafa (na primer čvorove ili grane grafa) kao argumente. Programska metoda iz biblioteke koda za implementaciju Dijkstra algoritma je korišćena za određivanje virtuelnih proizvodnih ćelija.

Računarska simulacija primene modela u realnim uslovima je izvršena u akademskoj verziji simulacionog softvera *Arena*³. Pomoću *Arena* simulacionog softvera, korisnik može interaktivno razvijati model, izvršiti simulaciju, prikupiti izlazne podatke iz simulacije, kreirati i pregledati izveštaje o dobijenim rezultatima.

1 Python programming language. [Online]: <http://www.python.org>

2 NetworkX. [Online]: <http://networkx.github.io>

3 Arena simulation software. [Online]: http://www.arenasimulation.com/Arena_Home.aspx

Simulacioni softver podržava hijerarhijsku izgradnju modela koja daje mogućnost da svaki element modela sadrži svoje podmodele. Elementi podmodela mogu takođe imati podmodele, ukoliko je to potrebno. Hijerarhijska izgradnja modela je bitna iz razloga što dozvoljava dekompoziciju modela na više manjih jedinica koje su lakše za razumevanje. Nakon pokretanja simulacije, simulacioni model se prvo prevodi u kod programskog jezika *SIMAN*, a zatim se taj kod kompajlira i izvršava (Kelton, Sadowski, and Zupick 2009). Simulacioni eksperiment se može ponoviti više puta, odnosno može se replicirati. Rezultati simulacije se generišu softverom za računarsku simulaciju i prezentuju se u vidu izveštaja simulacionih eksperimenata. Rezultati obuhvataju podatke o entitetima (predmeti rada, grupe predmeta rada), procesima (operacijama rada), resursima (tehnološkim sistemima, učesnicima u procesima rada) i sl., odnosno rezultati su kategorisani.

2. Studije slučaja proizvodnih sistema

Modeli su ispitani korišćenjem dostupnih podataka dva preduzeća sa teritorije republike Srbije.

U prvoj studiji slučaja su korišćeni podaci iz proizvodnje pločastog nameštaja. Razmatrana je proizvodnja 30 različitih delova (predmeta rada) koji ulaze u sastav različitih proizvoda, koji se proizvode u okviru jedne faze obrade. Porudžbine kupaca obuhvataju proizvode u odgovarajućim količinama.

U drugoj studiji slučaja su korišćeni podaci iz proizvodnje priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema. Razmatrana je proizvodnja 31 različitog dela (predmeta rada) koji ulaze u sastav različitih proizvoda, koji se proizvode u okviru dve faze obrade. Porudžbine kupaca obuhvataju proizvode ili delove u odgovarajućim količinama.

Sprovedeno istraživanje za svaku studiju slučaja obuhvata:

- matricu učestalosti za predmete rada i tehnološke sisteme;
- matricu vremena obrade za predmete rada;
- matricu rastojanja između tehnoloških sistema;
- porudžbinu za proizvode (delove tj. predmete rada);
- kreiranje grupa predmeta rada;
- određivanje početne dužine perioda P i broja faza N;
- kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija;
- analizu opterećenje - efektivni kapacitet za virtuelne proizvodne ćelije;
- terminske planove proizvodnje grupa predmeta rada i prateće Gant dijagrame i
- simulacije terminskih planova proizvodnje.

Programski kod za kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija i rezultati provere terminskih planova proizvodnje putem simulacionih eksperimenata su dati u priložima doktorske disertacije.

3. Ograničenja u sprovedenom istraživanju

Prilikom sprovođenja istraživanja identifikovano je nekoliko ograničenja.

Preduzeća u obe studije slučaja nemaju primenjenu grupnu tehnologiju u proizvodnim procesima, kao ni sistem upravljanja periodičnim serijama predmeta rada. Istraživanje mogućnosti primene modela u realnim uslovima ne obuhvata fazu 6 i fazu 7 iz definisanih modela s razlogom što bi navedene faze zahtevale prethodno primenjenu grupnu tehnologiju i usvojen sistem upravljanja periodičnim serijama.

Prilikom kreiranja virtuelnih proizvodnih ćelija u modelima i u obe studije slučaja u razmatranje su od proizvodnih resursa uzimani samo raspoloživi tehnološki sistemi. Ostali proizvodni resursi (materijali, alati, energenti i učesnici u procesima rada) nisu posebno razmatrani. Tehnološki sistemi su kao jedini proizvodni resurs za kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija uzimani u razmatranje i u mnogim istraživanjima koja su već navedena u tabeli 3 u prethodnom poglavlju.

Prilikom razvoja modela planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama i sprovođenja istraživanja nisu u razmatranje uzimani troškovi koji nastaju u procesu proizvodnje usled držanja zaliha ili kao rezultat pripremno-završnih operacija, iz razloga što podaci vezani za troškove proizvodnje u obe studije slučaja nisu bili dostupni.

Primer u prvoj studiji slučaja obuhvata vremena obrade i alternativna vremena obrade predmeta rada. Pripremno-završna vremena predmeta rada nisu bila dostupna u vidu podataka te nisu uzeta u razmatranje.

U terminskim planovima za drugu studiju slučaja su uračunata sva pripremno-završna vremena u okviru grupe predmeta rada na određenoj operaciji rada. Redukcija pripremno-završnih vremena je moguća tek nakon usvajanja grupne tehnologije.

U drugoj studiji slučaja poslednja operacija je operacija galvanske zaštite. Određeni predmet rada mora provesti određeno vreme u bazenu za galvanizaciju bez obzira na pripadnost određenoj grupi predmeta rada ili postupak prelaska grupe predmeta rada sa operacije na operaciju. Grupna tehnologija i promena postupka prelaska grupe predmeta rada sa operacije na operaciju nemaju uticaj na vreme potrebno za operaciju galvanizacije u smislu uštede vremena potrebnog za obradu.

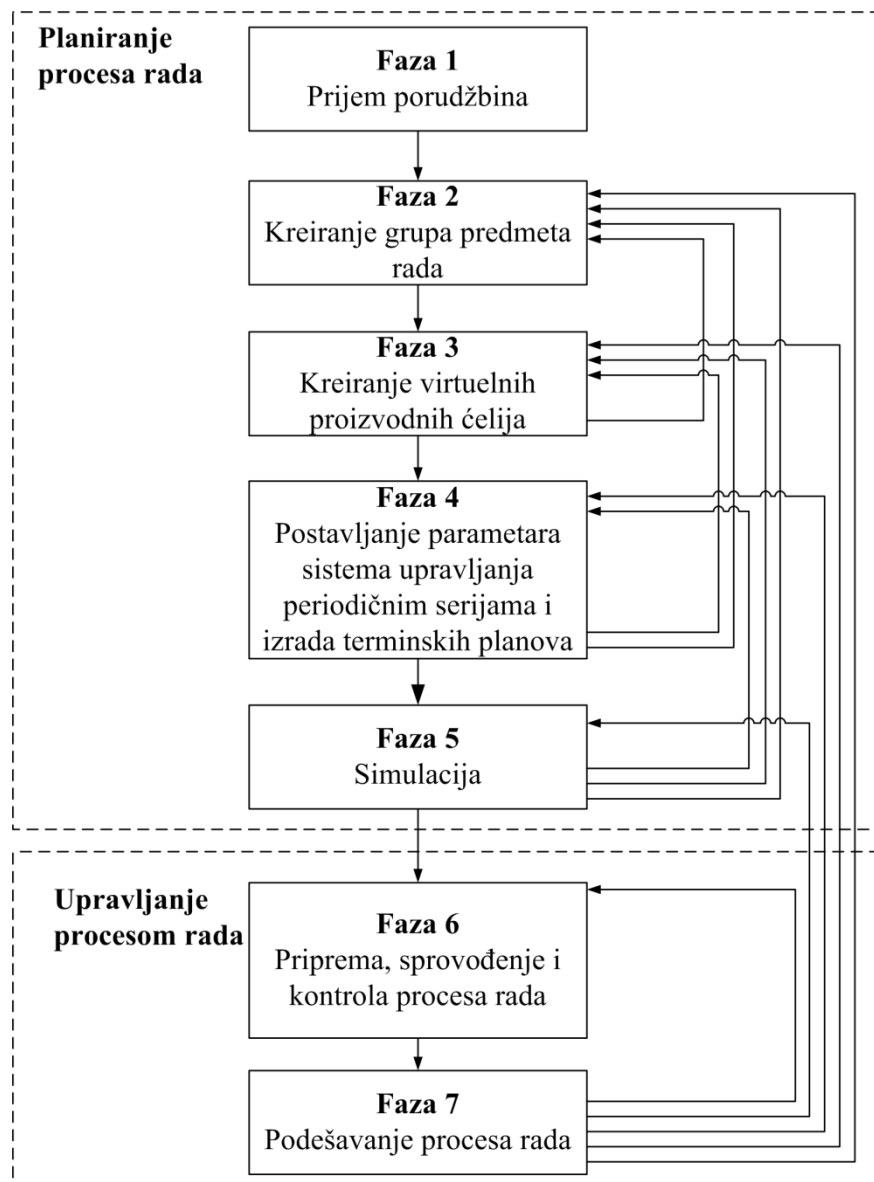
U obe studije slučaja vremena transporta i veličine transportnih partija predmeta rada između radnih mesta nisu bila dostupna u vidu podataka i nisu uzeta u razmatranje prilikom izrade terminskih planova proizvodnje. Transportna vremena i veličine transportnih partija predmeta rada nisu razmatrani u istraživanjima koja se odnose na PBC sistem objavljenim u radovima (Burbidge 1988), (Zelenović and Tešić 1988), (Kaku and Krajewski 1995), (Rachamadugu and Tu 1997), (Silva and Fernandes 2008), (Severino et al. 2010). U radu (Yang and Jacobs 1992) je zanemareno transportno vreme između tehnoloških sistema koji čine proizvodnu ćeliju, dok veličina transportne partije nije razmatrana u pogonu koji je organizovan putem klasičnih proizvodnih ćelija. Postojeće ograničenje svakako predstavlja istraživačko pitanje koje bi bilo jedno od pravaca daljeg istraživačkog rada.

U okviru istraživanja nisu sprovedene optimizacije procesa rada koje mogu da se odnose na uravnoteženje opterećenja kapaciteta tehnoloških sistema, optimizacije terminskih planova u smislu skraćanja vremena čekanja grupa predmeta rada na obradu, skraćanja pripremno-završnih vremena, skraćanja vremena trajanja ciklusa proizvodnje i slično. Polazna pretpostavka prilikom izgradnje simulacionih modela je bila da se transport grupa predmeta rada minimizuje primenom algoritma iz teorije grafova, a pripremno-završno vreme na tehnološkim sistemima minimizuje upotrebom grupne tehnologije. Iz tog razloga vremena čekanja grupa predmeta rada na obradu u okviru određene faze proizvodnje nisu posebno razmatrana u simulacionim eksperimentima i u rezultatima simulacionih eksperimenata (cilj je da se proizvodnja određene grupe predmeta rada u toku određene faze obrade ili montaže N završi u okviru zadatog planskog perioda P).

U sledećem poglavlju su objašnjeni modeli za planiranje i upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama.

V Modeli za planiranje i upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama

Aktivnosti planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama su, zbog prirode posmatranog problema, u međusobnoj interakciji i ne mogu se tretirati odvojeno. Analiza prilaza planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama iz poglavlja 3 je dala osnovu za kreiranje modela. Modeli obuhvataju sve relevantne zadatke koji obezbeđuju da se proces planiranja i upravljanja u virtuelnim proizvodnim ćelijama realizuje. Modeli su prikazani na slici 25 kao faze jednog algoritma.



Slika 25. Modeli planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama kao faze jednog algoritma

U nastavku su objašnjene faze modela.

1. Planiranje procesa rada

1.1. Faza 1 - Prijem porudžbina

Prijem porudžbina se vrši za svaki vremenski period P . U okviru istog vremenskog perioda porudžbine se primaju do trenutka dok postoje raspoloživi obradni ili montažni kapaciteti za njihovu realizaciju. Varijacije u proizvodnom miksu su dozvoljene iz razloga što ne utiču na iskorištenost mašina kao što bi to bilo u slučaju da se koriste klasične ćelije. Na programskom sastanku se određuje koje će porudžbine biti prihvaćene i kreira se operativni plan proizvodnje.

1.2. Faza 2 - Kreiranje grupa predmeta rada

Kreiranje grupe ili grupa predmeta rada za primljene porudžbine se vrši ili prema sličnosti operacija iz tehnološkog postupka predmeta rada ili prema sličnosti oblika i karakteristika predmeta rada. Za potrebe istraživanja doktorske disertacije je korišćena metoda koeficijenata sličnosti koja je opisana u poglavlju 4. Prilikom kreiranja grupa predmeta rada za proračun koeficijenata sličnosti, u obzir se uzimaju sve operacije iz tehnološkog postupka za svaki predmet rada.

1.3. Faza 3 - Kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija

Grupisanje tehnoloških sistema i učesnika u virtuelnu proizvodnu ćeliju jeste integralni deo sistema planiranja. Prilikom određivanja virtuelnih proizvodnih ćelija potrebno je voditi računa o ciljevima (Hamedi et al. 2012a):

- minimizacija ukupnog rastojanja kojeg predmeti rada moraju preći u toku obrade ili montaže i minimizacija troškova manipulisanja materijalom;
- minimizacija preklapanja ćelija, što znači minimizaciju kretanja predmeta rada u okviru virtuelne proizvodne ćelije (važno je kreirati grupe sličnih predmeta rada zbog toga što deljenje tehnoloških sistema predstavlja jedan od glavnih faktora koji utiču na ukupno vreme rada);
- maksimizovanje koeficijenta sličnosti tokom određivanja klastera tehnoloških sistema i delova proizvoda (predmeta rada);
- minimizacija ukupnog vremena proizvodnje, koje uključuje vreme obrade (montaže), transportna vremena, kao i pripremno-završna vremena i
- maksimizacija broja proizvodnih ćelija radi lakšeg terminiranja poslova u okviru ćelije i lakšeg upravljanja materijalom.

Drugi i peti cilj sa liste su međusobno kontradiktorni, iz razloga što se preklapanje proizvodnih ćelija povećava sa brojem kreiranih proizvodnih ćelija i obratno, te je potrebno održati kompromis između ciljeva.

Za potrebe kreiranja virtuelnih proizvodnih ćelija može se koristiti prilaz putem teorije grafova, odnosno elementi proizvodnog sistema se prikazuju kao elementi grafa $G(V,E)$, gde V predstavlja skup čvorova, a E skup grana grafa G . Dva čvora grafa G se smatraju susednim ukoliko su povezani granom grafa. Tehnološki sistemi se predstavljaju kao čvorovi grafa, a rastojanja između njih kao težinski koeficijenti grana koje ih povezuju. Za određivanje najkraćeg rastojanja između tehnoloških sistema može se koristiti Dijkstra algoritam (Dijkstra 1959). Za proračun dužine putanje algoritam koristi prethodno zadate težinske koeficijente grana grafa. Algoritam se sprovodi za svaku prethodno kreiranu grupu predmeta rada (delova). Izvršavanje algoritma je dato na slici 26 i prikazuje pretragu najkraće putanje od čvora M1 (tehnološkog sistema M1) do čvora M8 (tehnološkog sistema M8). Usmerene strelice označavaju putanje koje su uzete u obzir primenom algoritma. Usmerene strelice plave boje označavaju najkraću putanju. Algoritam odabira najkraću putanju između zadatih čvorova grafa G prema dole navedenom postupku.

Definiše se početni čvor odnosno čvor grafa (M1) od kojeg se računa najkraća putanja. Početna dužina putanje je nula i ona se dodeljuje početnom čvoru.

Od početnog čvora grafa se računaju dužine putanja do susednih čvorova (M2, M3, M4) upotrebom težinskih koeficijenata grana grafa i odabira se susedni čvor sa najkraćom putanjom (M2). Dužina putanje se sabira sa prethodnom dužinom putanje i dodeljuje odabranom susednom čvoru M2 ($0+3=3$).

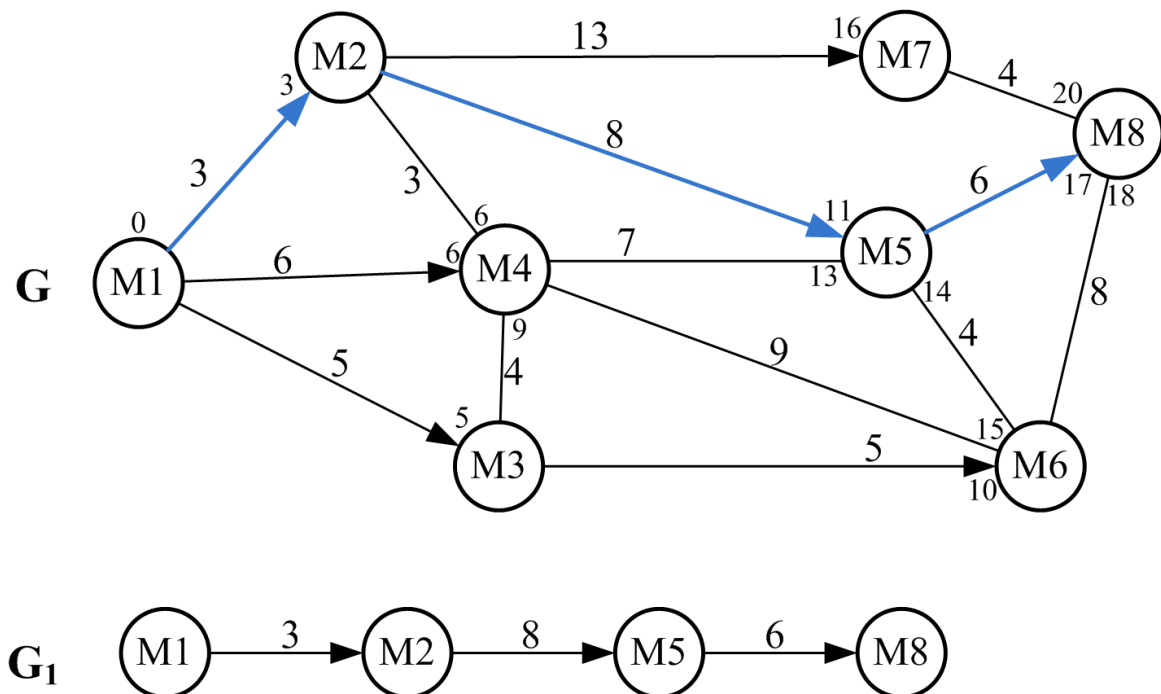
Sledeći čvor grafa se bira izborom najkraće putanje između posećenih čvorova grafa i neposećenih čvorova grafa, odnosno u obzir se uzimaju putanje između čvora M1 i svih neposećenih njemu susednih čvorova grafa i putanja između čvora M2 i svih neposećenih njemu susednih čvorova grafa. Dužina putanje se sabira sa prethodnom dužinom putanje i dodeljuje odabranom susednom čvoru.

Izvršavanje algoritma se prekida kada se poseti krajnji čvor grafa koji je zadat kao čvor grafa do kojeg se računa najkraća putanja (M8).

Najkraća putanja se određuje kretanjem od krajnjeg čvora unazad sve do početnog čvora. Najkraća putanja za primer dat na slici je M1-M2-M5-M8. Tehnološki sistemi M1, M2, M5 i M8 formiraju jednu virtuelnu proizvodnu ćeliju, odnosno graf G_1 . Graf G_1

predstavlja rezultat primene algoritma nad grafom G i naziva se grafom kreirane virtualne proizvodne ćelije. Graf G_1 predstavlja podgraf grafa G .

U slučaju primene algoritma na proizvodni sistem potrebno je obezbediti sledljivost tehnoloških sistema prema tehnološkom postupku izvršavanja operacija rada. Granama grafa koje spajaju posmatrani tehnološki sistem sa tehnološkim sistemima koji ne slede prema tehnološkom postupku izvršavanja operacija rada, se mogu dodeliti veliki težinski koeficijenti (na primer vrednost 999). Dodelom velikih težinskih koeficijenata se izbegava situacija da se u toku izvršavanja algoritma odaberu tehnološki sistemi koji su možda susedni čvorovi za posmatrani tehnološki sistem ali ne slede prema tehnološkom postupku izvršavanja operacija rada za posmatranu grupu predmeta rada.



Slika 26. Primena Dijkstra algoritma

Kreirana početna konfiguracija (graf) virtualnih proizvodnih ćelija je podložna izmenama shodno postavljenim uslovima za period P , analizi opterećenje-kapacitet tehnoloških sistema u toku postavljenog perioda P i terminskim planovima proizvodnje grupa predmeta rada u okviru faze odgovarajuće obrade ili montaže.

1.4. Faza 4 - Postavljanje parametara sistema upravljanja periodičnim serijama i izrada terminskih planova

1.4.1. Postavljanje parametara sistema upravljanja periodičnim serijama

Dužina vremenskog perioda P i broj faza obrade ili montaže N čine suštinu sistema upravljanja periodičnim serijama. Određivanje dužine vremenskog perioda trajanja faze obrade ili montaže i broja faza obrade ili montaže nije proces koji je moguće izvesti u jednoj iteraciji. Potrebno je nekoliko iteracija kako bi se nakon određenog vremena došlo do ustaljenog broja faza obrade ili montaže i dužine perioda. Barbidž u istraživanju objavljenom u radu (Burbidge 1988) navodi da planiranje dužine vremenskog perioda podrazumeva prethodnu:

- eksploziju predmeta rada;
- grupisanje predmeta rada i
- određivanje količine opterećenja tehnoloških sistema i vremena trajanja ciklusa proizvodnje predmeta rada.

Za početnu dužinu perioda P se može uzeti određeni period vremena prema procenama koje mogu uključiti karakteristike proizvodnog sistema (broj radnih smena, broj radnih časova, karakteristike tehnoloških sistema i radne snage), proizvodnog programa (odnos struktura-količine proizvoda iz proizvodnog programa) kao i podatke iz sastavnice proizvoda (složenost proizvoda) (Zelenović and Tešić 1988).

Početna dužina perioda P se može postaviti i pre formiranja virtuelnih proizvodnih ćelija. Na osnovu istraživanja opisanih u poglavlju 3, a posmatrano iz perspektive virtuelnih proizvodnih ćelija, period P mora zadovoljiti odgovarajuće uslove.

Prvi uslov je da period P mora biti veći od opterećenja po tehnološkim sistemima, za sve predmete rada koji se obrađuju na odgovarajućem tehnološkom sistemu, što je prikazano obrascem 5.1. Uslov se odnosi na sve tehnološke sisteme koji se koriste u toku procesa odgovarajuće faze obrade ili montaže a koji mogu biti deo različitih virtuelnih proizvodnih ćelija. Dodatno se vrši određivanje odnosa opterećenje kapacitet-efektivni kapacitet za odabrani period P . Na osnovu ove analize se može zaključiti da li tehnološki sistemi imaju dovoljan efektivni kapacitet.

Ukoliko je period P manji od opterećenja tehnoloških sistema ili ukoliko se opterećenje tehnoloških sistema veće od efektivnog kapaciteta virtuelne proizvodne ćelije se mogu

strukturno izmeniti (na primer dodavanjem tehnoloških sistema u virtuelnu proizvodnu ćeliju).

$$P \geq \sum_{g=1}^m \left(\sum_{j=1}^k n^{(j)} \cdot t_{ii}^{(j)} + \sum_{j=1}^k t_{pzi}^{(j)} \right) \quad (5.1)$$

za $j \in g \wedge g \in ts \wedge ts \in fom$

g – oznaka grupe predmeta rada

j – struktura grupe predmeta rada

$n^{(j)}$ – količina j -tog predmeta rada

$t_{ii}^{(j)}$ – vreme obrade ili montaže po jedinici j -tog predmeta rada na predmetnom tehnološkom sistemu operacije rada i

$t_{pz}^{(j)}$ – pripremno-završno vreme za datu količinu j -tog predmeta rada na predmetnom tehnološkom sistemu operacije rada i

ts – tehnološki sistem

fom – faza obrade ili montaže

Drugi uslov je da period P mora biti veći od vremena trajanja ciklusa proizvodnje za odgovarajuću grupu predmeta rada. Vreme trajanja ciklusa proizvodnje predstavlja vremenski interval izvođenja tehnoloških i ostalih (priprema, upravljanje, održavanje, zastoji, međuoperaciona vremena, stanja u otkazu, čekanja u redu čekanja) delova strukture rada (Zelenović 2003). Vreme trajanja ciklusa proizvodnje zavisi od postupka prelaska predmeta rada sa operacije na operaciju. Postoje tri postupka prelaska predmeta rada sa operacije na operaciju (Zelenović 2003):

- redni postupak – prelazak predmeta rada na sledeću operaciju rada se vrši tek nakon što se cela količina iz serije predmeta rada obradi na prethodnoj operaciji rada;
- paralelni postupak – omogućuje podelu serije predmeta rada u manje celine odnosno partije, pri čemu se prelazak predmeta rada na sledeću operaciju rada vrši odmah nakon završetka partije predmeta rada i time se skraćuje vreme trajanja ciklusa proizvodnje i
- redno-paralelni postupak – predstavlja kombinaciju prethodna dva postupka i iz tog razloga se naziva još i kombinovani postupak.

Grupa predmeta rada se obrađuje ili montira u okviru virtuelne proizvodne ćelije kreirane u odgovarajućoj fazi obrade ili montaže. Grupa predmeta rada se vezuje za grupni radni nalog (izgled naloga je prikazan u poglavlju 3), dok se pojedinačni predmet rada iz određene grupe vezuje za ident kartu (izgled ident karte je prikazan u poglavlju 3). Vreme potrebno za obradu grupe predmeta rada po seriji na određenoj operaciji rada je dato u obrascu 5.2. Vreme potrebno za obradu grupe predmeta rada po partiji na određenoj operaciji rada se dobija kada se vreme potrebno za obradu grupe predmeta rada po seriji podeli sa brojem partija. Vreme po partiji je dato u obrascu 5.3.

$$\frac{\sum_{j=1}^k n^{(j)} t_{ii}^{(j)}}{m_i} + \sum_{j=1}^k t_{pzi}^{(j)} \quad (5.2)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^k n^{(j)} t_{ii}^{(j)}}{m_i \cdot p} + \sum_{j=1}^k t_{pzi}^{(j)} \quad (5.3)$$

j – struktura grupe predmeta rada

$n^{(j)}$ - količina j -tog predmeta rada

$t_{ii}^{(j)}$ – vreme obrade ili montaže po jedinici j -tog predmeta rada na operaciji rada i

$t_{pzi}^{(j)}$ - pripremno-završno vreme za količinu j -tog predmeta rada na operaciji rada i

m_i - broj tehnoloških sistema za izvršavanje operacije rada i

p – broj partija u grupi predmeta rada

Terminski plan proizvodnje pokazuje da li grupa predmeta rada zadovoljava drugi uslov odnosno uslov da je vreme trajanja ciklusa proizvodnje manje od postavljenog perioda P . Iz terminskog plana i Gant dijagrama se pored vremena obrade i pripremno-završnih vremena mogu videti i vremena čekanja grupa predmeta rada ili njihovih partija na obradu ili montažu. Redni način prelaska grupe predmeta rada omogućuje najlakše upravljanje procesima rada ali istovremeno daje i najduže vreme trajanja ciklusa proizvodnje. Paralelni i kombinovani načini prelaska grupe predmeta rada zahtevaju kompleksnije upravljanje procesima rada, u smislu da je potrebno količine predmeta rada iz grupe podeliti na partije koje su u pogledu vremena obrade ili montaže jednake (ili približno jednake). Paralelni ili kombinovani način prelaska grupe predmeta rada obezbeđuju kraće vreme trajanja ciklusa proizvodnje, iako u terminskom planu može doći do odlaganja početka obrade određene grupe predmeta rada na operaciji rada zbog postojećih ograničenja proizvodnih resursa (raspoloživih kapaciteta tehnoloških sistema, raspoložih

učesnika u procesima rada i sl.). Postavljeni uslov važi za svaku virtuelnu proizvodnu ćeliju kreiranu u istoj fazi obrade ili montaže.

U slučaju da nije moguće ispuniti zahteve kupaca u okviru početno zadate dužine perioda P, potrebno je izvršiti optimizaciju procesa rada u okviru proizvodnog pogona (skraćanjem međuoperacionih vremena, paralelnim izvođenjem operacija rada, podelom količina predmeta rada iz radnih naloga u partije predmeta rada (Zelenović 2004)). Takođe je moguće korigovati tj. povećati dužinu perioda P, što predstavlja poslednje rešenje jer podrazumeva odlaganje isporuke gotovih proizvoda kupcima.

Pored dužine perioda P potrebno je definisati broj faza obrada ili montaže predmeta rada. Riezebos u doktorskoj disertaciji datoj u (Riezebos 2001) navodi da mali broj faza obrade ili montaže sa dužim utvrđenim vremenskim periodom trajanja povećava fleksibilnost u pogledu proizvodnog miksa, smanjuje osetljivost na dugačka vremena obrade i gubitke u pogledu pripremno-završnih vremena. Isti autor takođe navodi da veći broj faza sa kraćim periodom P obezbeđuje bolju kontrolu procesa rada, lakše upravljanje deljenim resursima, kraće vreme od prijema porudžbine do isporuke proizvoda kupcu i manje zalihe gotovih proizvoda.

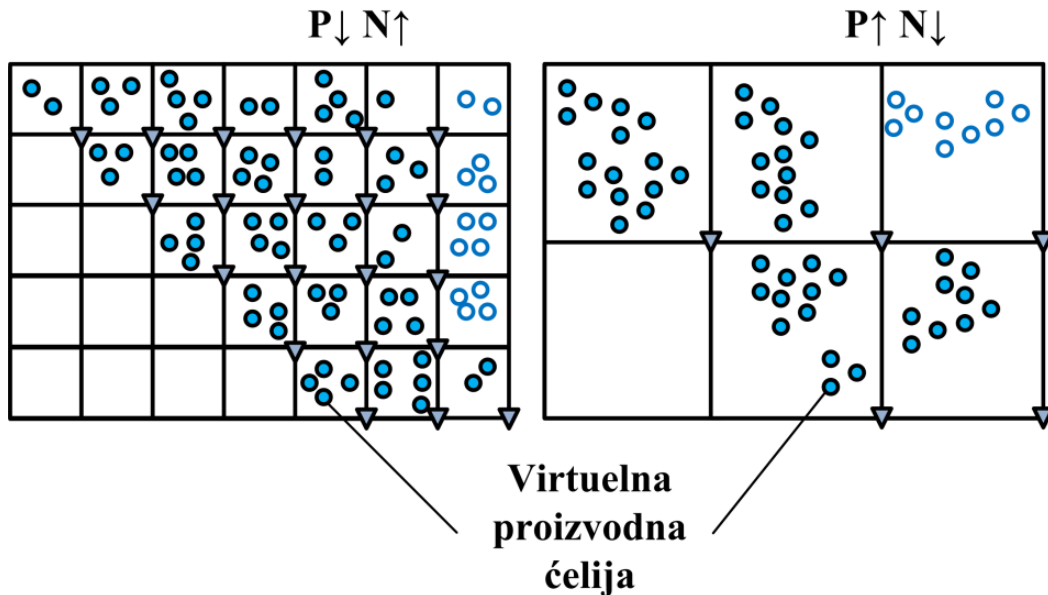
Situacija je slična i kod virtuelnih proizvodnih ćelija. U pogledu izbora između broja faza obrade ili montaže i dužine vremenskog perioda moguća su dva slučaja (slika 27):

- slučaj kada je broj faza obrade ili montaže veliki a dužina perioda P mala i
- slučaj kada je broj faza obrade ili montaže mali a dužina perioda P velika.

U prvoj situaciji prikazanoj na slici 27, kada je broj faza obrade ili montaže N veliki, dužina perioda P se skraćuje, što dovodi do povećane fleksibilnosti u pogledu prijema porudžbina i ispunjenja zadatah rokova isporuke. Porudžbine moraju biti manje u pogledu količina zbog kraćeg vremenskog perioda. Kod terminiranja je potrebno voditi računa o pojavi virtuelnih proizvodnih ćelija u okviru više različitih faza obrade koje se dešavaju istovremeno, odnosno tokom istog perioda (povećano je deljenje proizvodnih resursa). Potrebno je obratiti pažnju i na to da kratka dužina perioda uslovljava kreiranje manjeg broja virtuelnih proizvodnih ćelija nad kojima treba izvršiti terminiranje različitih grupa delova. Ukoliko dođe do otkaza dela virtuelne proizvodne ćelije (tehnološkog sistema) tada je moguća pojava stresnih situacija zbog kraćeg vremena trajanja perioda P.

U drugoj situaciji sa slike 27, kada je broj faza obrade ili montaže N mali a dužina perioda P velika, u okviru faze obrade ili montaže moguće je postojanje više virtuelnih proizvodnih

ćelija, što može da uzrokuje veće preklapanje poslova između proizvodnih ćelija, kao i lakše upravljanje materijalom u okviru pojedinačne proizvodne ćelije. Moguće je primiti više porudžbina nego u prethodnoj situaciji, porudžbine mogu biti količinski veće, ali je rok isporuke proizvoda duži.



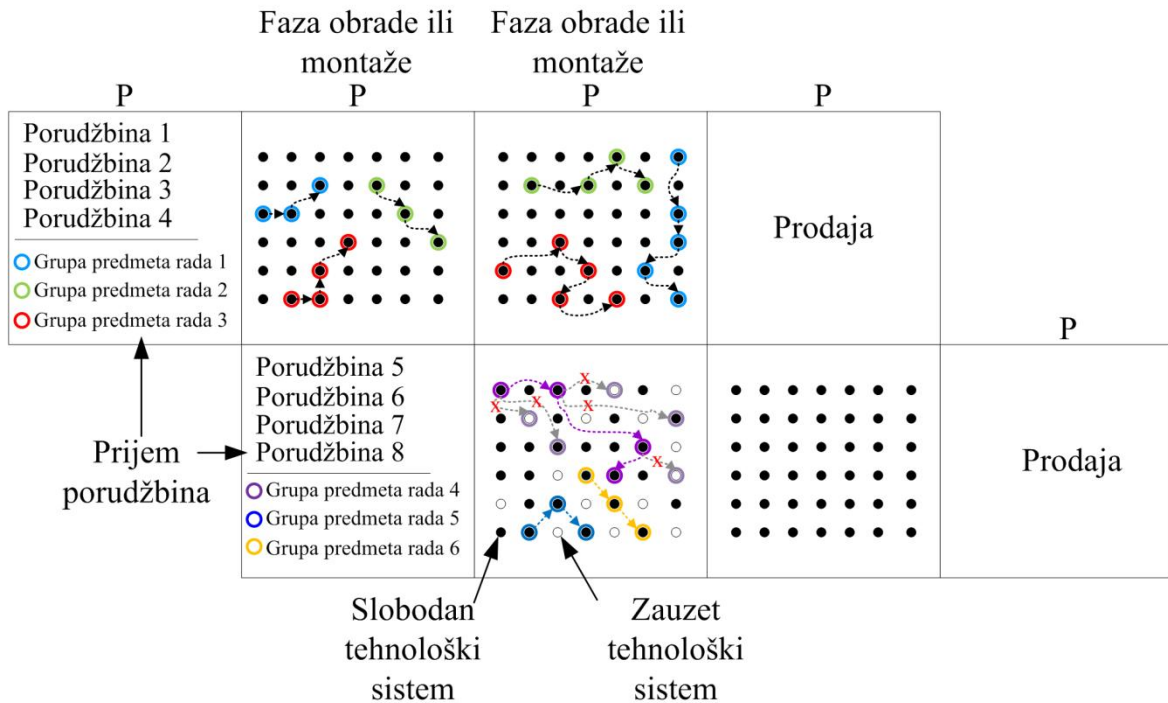
Slika 27. Odnos između dužine perioda P i broja faza obrade ili montaže

Virtuelna proizvodna ćelija se ne sme prostirati kroz više faza obrade ili montaže iz razloga što bi u tom slučaju imali otežano upravljanje proizvodnim sistemom, što je prikazano na primeru upravljanja klasičnim proizvodnim ćelijama u doktorskoj disertaciji (Riezebos 2001). Potrebno je imati u vidu da nakon rasformiranja virtuelne proizvodne ćelije nakon završetka određene faze obrade ili montaže, potpuno isti proizvodni resursi (na primer tehnološki sistemi ili učesnici u procesima rada) se mogu koristiti za formiranje novih virtuelnih proizvodnih ćelija za narednu fazu obrade ili montaže.

1.4.2. Izrada terminskih planova

Izrada terminskih planova omogućuje proveru odnosa između postavljenog perioda P i vremena trajanja ciklusa proizvodnje za grupe predmeta rada. U sistemu upravljanja periodičnim serijama sve porudžbine se putem radnih naloga puštaju istovremeno u proces proizvodnje, kao što je prikazano u radu Barbidža (Burbidge 1988) i doktorskoj disertaciji Riezebosa (Riezebos 2001). Životni ciklus virtuelne proizvodne ćelije se vezuje za grupu predmeta rada u fazi obrade ili montaže, a ne za svaku porudžbinu pojedinačno. Osnovna ideja je da se svaka obrada ili montaža grupa predmeta rada u određenoj fazi obrade ili montaže izvršava u okviru jedne virtuelne proizvodne ćelije, sa minimumom međućelijaskog

transporta. Jedna porudžbina može da uzrokuje kreiranje jedne ili više grupa predmeta rada, takođe i jedna grupa predmeta rada može da odgovara jednoj ili više primljenih porudžbina. Prikaz ovakvog sistema terminiranja je dat na slici 28.



Slika 28. Terminiranje grupa delova u okviru sistema upravljanja periodičnim serijama

Ukoliko postoji više faza obrade ili montaže koje se vremenski poklapaju (izvršavaju se u okviru istog perioda P), tada se u terminiranju moraju uključiti grupe predmeta rada iz različitih faza obrade ili montaže. Slika 28 prikazuje situaciju gde je potrebno terminirati porudžbine 5, 6, 7 i 8 (grupe predmeta rada 4, 5, i 6) nad istim skupom tehnoloških sistema nad kojim je već prethodno izvršeno terminiranje porudžbina 1, 2, 3 i 4 (grupe predmeta rada 1, 2 i 3). U ovom slučaju prvo se terminiraju porudžbine koje imaju kraće vreme do početka faze prodaje, odnosno porudžbine 1, 2, 3 i 4. Grupe predmeta rada koje pripadaju različitim fazama obrade ili montaže se ne spajaju, iako možda može da postoji sličnost predmeta rada u okviru različitih grupa.

Ovakav način terminiranja se razlikuje u odnosu na onaj koji je predložio Drolet u doktorskoj disertaciji (Drolet 1989), po tome što se prvo kreiraju grupe predmeta rada za pristigle porudžbine, a zatim se kroz primenu algoritma najkraćeg rastojanja kreiraju virtualne proizvodne ćelije i svi radni nalozi se puštaju u proizvodnju istovremeno. Drolet terminira svaku nadolazeću porudžbinu pojedinačno, popunjavajući kapacitete tehnoloških sistema, pri čemu takođe traži najkraći put od jednog tehnološkog sistema do sledećeg.

1.5. Faza 5 - Simulacija

Provera kreiranih terminskih planova se vrši simulacijom procesa rada. Simulacija kreiranih terminskih planova se vrši pre izvođenja procesa proizvodnje. Simulacija predstavlja eksperiment koji se sprovodi radi imitiranja funkcionisanja realnih procesa ili sistema tokom određenog zadatog vremena i sprovodi se u više faza prema postupku opisanom u knjizi (Banks et al. 2005).

Prva faza predstavlja formulisanje problema i definisanje ciljeva simulacionog eksperimenta, odnosno utvrđivanje problema posmatranog procesa ili sistema i opis ciljeva koji se žele postići simulacionim eksperimentom. Osnovni problem jeste ispitivanje mogućnosti ispunjenja primljenih porudžbina putem kreiranih virtuelnih proizvodnih ćelija u okviru date dužine perioda (P) i broja faza obrade ili montaže (N). Cilj je dobiti odgovor na pitanje: da li je moguće realizovati proizvodnju primenom virtuelnih proizvodnih ćelija u datom vremenskom periodu?

Druga faza predstavlja izradu konceptualnog modela i prikupljanje podataka, odnosno kreiranje modela procesa ili sistema čija se kompleksnost može povećati tokom vremena sa prikupljanjem podataka o posmatranom problemu. Moderna softverska rešenja za simulaciju omogućuju kreiranje modela što olakšava njegovo kasnije prevođenje.

Treća faza predstavlja prevođenje kreiranog modela u programski kod odnosno u niz komandi koje se izvršavaju na računarskim sistema.

Četvrta faza predstavlja verifikaciju i validaciju modela, odnosno ispitivanje modela u smislu da li je logika funkcionisanja modela ispravna (verifikacija) i da li model u određenoj meri uspešno reprezentuje posmatrani proces ili sistem (validacija).

Peta faza predstavlja određivanje parametara simulacionog eksperimenta, odnosno određivanje dužine trajanja i broja ponavljanja (replikacija) eksperimenta.

Šesta faza predstavlja izvršavanje eksperimenta i analizu rezultata se koriste radi utvrđivanja performansi postavljenog rešenja nekog problema. Ukoliko rezultati nisu zadovoljavajući moguće je vratiti se na neki od prethodnih koraka i izmeniti model.

Sedma faza predstavlja kreiranje dokumentacije ili izveštaja koji sadrži rezultate i prikupljene statistike iz sprovedenog simulacionog eksperimenta.

Planiranje procesa rada predstavlja osnovu za dalje upravljanje proizvodnjom u okviru proizvodnog sistema. Izlazni podaci iz modela planiranja procesa rada predstavljaju ulazne

podatke za model upravljanja procesima rada. Upravljanje virtuelnim proizvodnim ćelijama zahteva pripremu i sprovođenje procesa rada i kontrolu kvaliteta po fazama obrade i podešavanja procesa rada.

2. Upravljanje procesima rada

2.1. Faza 6 - Priprema, sprovođenje i kontrola procesa rada

Adekvatna priprema procesa rada zahteva kreiranje grupnih radnih naloga za grupe predmeta rada sa pratećim ident kartama za svaki predmet rada iz grupe. Primeri grupnog radnog naloga i prateće idente karte su prikazani u poglavlju 3 i usvajaju se kao dokumentacija za upravljanje procesima rada u okviru predloženog modela. Realizovanje i kontrola procesa proizvodnje se vrši uz pomoć upravljačke i tehničko-tehnološke dokumentacije, a putem prethodno kreiranih virtuelnih proizvodnih ćelija. Životni ciklus jedne virtuelne proizvodne ćelije traje koliko i planski period P , odnosno sa dolaskom novih porudžbina počinje novi period i kreiraju se nove proizvodne ćelije za taj period.

2.2. Faza 7 - Analiza i podešavanje procesa rada

Analiza i podešavanje procesa rada se vrši na poređenjem planiranih i ostvarenih veličina i korigovanjem odgovarajućih nedostataka. U tom smislu moguće je izvršiti potrebne korekcije:

- strukture kreiranih virtuelnih proizvodnih ćelija u smislu dodavanja ili uklanjanja tehnoloških sistema;
- dužine perioda P ili broja faza N , u smislu zadovoljenja potrebnih uslova definisanih modelom;
- terminskih planova izvođenja procesa rada i
- elemenata procesa rada u proizvodnom sistemu.

Predloženi modeli treba da omoguće planiranje i upravljanje procesa obrade i montaže predmeta rada u virtuelnim proizvodnim ćelijama. Svaka faza modela (osim faze 1 -Prijem porudžbina) omogućuje povratnu spregu ka prethodnim fazama. Povratna sprega predstavlja osnovni elemenat planiranja i upravljanja u proizvodnom sistemu.

Istraživanje mogućnosti primene modela u realnim uslovima je prikazano u narednom poglavlju.

VI Istraživanje mogućnosti primene modela u realnim uslovima

Istraživanje obuhvata faze algoritma odnosno faze postavljenih modela koje su relevantne za dokazivanje postavljenih hipoteza istraživanja. Istraživanje mogućnosti primene modela je prikazano kroz dve studije slučaja gde će se u prvoj proizvodnja vršiti putem virtuelnih proizvodnih ćelija u okviru jedne faze obrade ($N=1$), a u drugoj putem virtuelnih proizvodnih ćelija u dve faze obrade ($N>1$). U svakoj studiji slučaja će biti prikazano sledeće:

- matrica učestalosti za delove i tehnološke sisteme;
- matrica vremena obrade za predmete rada;
- matrica rastojanja između tehnoloških sistema;
- porudžbina za proizvode (delove odnosno predmete rada);
- kreiranje grupa predmeta rada;
- određivanje početne dužine perioda P i broja faza N ;
- kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija;
- analiza opterećenje-efektivni kapacitet za virtuelne proizvodne ćelije;
- terminiranje grupa predmeta rada i
- simulacija proizvodnog procesa.

1. Studija slučaja proizvodnje pločastog nameštaja ($P=4800$ minuta, $N=1$)

Primer obuhvata 30 delova (predmeta rada) koji ulaze u sastav 10 različitih proizvoda čija se obrada vrši na različitim tehnološkim sistemima. U procesu proizvodnje postoji više tehnoloških sistema istog tipa koji su označeni sa m_{xy} gde x označava redni broj (1, 2, 3...) a y označava slovo (a, b, c,...). Tehnološki sistemi $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7$ i m_8 služe za namensku obradu. Dodatni tehnološki sistemi su m_9 i m_{10} i predstavljaju fleksibilne obradne centre sa mogućnošću izvođenja većeg broja različitih operacija obrade ali sa dužim vremenima obrade. Nakon obrade delovi se pakuju i prodaju kupcu. Montaža gotovih proizvoda se vrši kod kupca, odnosno ne vrši se u okviru proizvodnog sistema.

U tabeli 4 je dat pregled tehnoloških sistema. Matrica učestalosti (shodno tehnološkim postupcima) za predmete rada (delove) i tehnološke sisteme je data u tabeli 5.

Tabela 4. Pregled tehnoloških sistema

Tehnološki sistem	Broj tehnoloških sistema	Oznake
m1	2	m1a, m1b
m2	2	m2a, m2b
m3	3	m3a, m3b, m3c
m4	1	m4a
m5	3	m5a, m5b, m5c
m6	1	m6a
m7	1	m7a
m8	3	m8a, m8b, m8c
m9	1	m9a
m10	1	m10a

Tabela 5. Matrica učestalosti

Predmeti rada	Tehnološki sistemi								
	m1a	m1b	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8
D01		1				1			
D02	1			1			1		
D03		1		1				1	
D04	1								
D05		1				1			
D11	1			1			1		
D12	1			1			1		
D2	1		1		1		1		
D31		1		1		1		1	
D32		1		1		1		1	
D4	1		1		1		1		
D5	1		1		1		1		
D61		1				1			1
D62		1				1			1
D63		1				1			1
D64		1							
D65		1	1			1			1
D71		1		1		1		1	
D72		1		1		1		1	
D8	1		1		1		1		
D9	1		1		1		1		
D101		1				1			1
D102		1				1			1
D103		1				1			1
D104	1								
D105		1	1			1			1
D111	1			1	1		1		
D112	1			1	1		1		
D121	1			1	1		1		
D122	1			1	1		1		

Vremena obrade predmeta rada su data u tabeli 6.

Tabela 6. Vremena za predmete rada na tehnološkim sistemima [sekund]

Predmeti rada	Vremena obrade na tehnološkim sistemima								
	m1a	m1b	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8
D01		7				14			
D02	11			11			43		
D03		8		9			35		
D04	11								
D05		8				17			
D11	11			12			22		
D12	11			12			23		
D2	11		26		10		20		
D31		7		7		14		10	
D32		7		6		14		12	
D4	11		26		10		20		
D5	9		22		10		20		
D61		6				12			66
D62		7				17			60
D63		6				12			30
D64		5							
D65		7	9			28			50
D71		8		9		23		20	
D72		8		9		23		10	
D8	10		22		10		9		
D9	10		22		10		9		
D101		8				14			72
D102		7				20			60
D103		8				17			32
D104	9								
D105		8	9			56			54
D111	10			11	8		23		
D112	10			11	8		10		
D121	11			13	8		25		
D122	11			12	8		13		

Tehnološki sistemi mogu biti alternativni tehnološki sistemi i to:

- m1a za m1b i obratno (vreme obrade je isto);
- m2 za m4 (1,3 puta sporije vreme obrade na tehnološkom sistemu m2);
- m3 za m4 (2,2 puta sporije vreme obrade na tehnološkom sistemu m3);
- m5 za m4 (3,4 puta sporije vreme obrade na tehnološkom sistemu m5);
- m6 za m7 i obratno (vreme obrade je isto);
- m9 za m6, m7 ili m8 (zavisno od dela) i
- m10 za m4 (zavisno od dela).

Alternativna vremena obrade na tehnološkim sistemima su data u tabeli 7.

Tabela 7. Alternativna vremena za predmete rada na tehnološkim sistemima [sekund]

Predmeti rada	Alternativna vremena obrade na tehnološkim sistemima										
	m1a	m1b	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10
D01	m1b 7	7			5	m4 14					m4 22
D02	11	m1a 11		11			43	m6 43			
D03	m1b 8	8		9			35	m6 35			
D04	11	m1a 11									
D05	m1b 8	8			6	m4 17					m4 26
D11	11	m1a 11		12			22	m6 22			
D12	11	m1a 11		12			23	m6 23			
D2	11	m1a 11	26		10		20	m6 20			
D31	m1b 7	7	m4 7	7	5	m4 14	m7 10	10		m6/m7 45	
D32	m1b 7	7	m4 7	6	5	m4 14	m7 12	12		m6/m7 54	
D4	11	m1a 11	26		10	m4 28	20	m6 20			
D5	9	m1a 9	22		10	m4 28	20	m6 20			
D61	m1b 6	6			4	m4 12			66	m8 70	m4 17
D62	m1b 7	7			6	m4 17			60	m8 65	m4 25.5
D63	m1b 6	6			4	m4 12			30	m8 35	m4 17
D64	m1b 5	5									
D65	m1b 7	7	9	m4 22	10	m4 28			50	m8 55	m4 24
D71	m1b	8	m4 11	9	8	m4 23	m7 20	20		m6/m7 75	
D72	m1b 8	8	m4 11	9	8	m4 23	m7 10	10		m6/m7 45	
D8	10	m1a 10	22		10	m4 14	9	m6 9			
D9	10	m1a 10	22		10	m4 14	9	m6 9			
D101	m1b 8	8			5	m4 14			72	m8 77	m4 22
D102	m1b 7	7			7	m4 20			60	m8 65	m4 30
D103	m1b 8	8			6	m4 17			32	m8 37	m4 26
D104	9	m1a 9									
D105	m1b 8	8	9	m4 44	20	m4 56			54	m8 60	m4 48
D111	10	m1a 10	m4 11	11	8	m4 23	23	m6 23		m6/m7 80	
D112	10	m1a 10	m4 11	11	8	m4 23	10	m6 10		m6/m7 40	
D121	11	m1a 11	m4 11	13	8	m4 23	25	m6 25		m6/m7 90	
D122	11	m1a 11	m4 11	12	8	m4 23	13	m6 13		m6/m7 50	

Matrica rastojanja u metrima između tehnoloških sistema je data u tabeli 8.

Tabela 8. Matrica rastojanja između tehnoloških sistema [metar]

	m1a	m1b	m2a	m2b	m3a	m3b	m3c	m4	m5a	m5b	m5c	m6a	m7a	m8a	m8b	m8c	m9a	m10a
m1a	0	3	12	15	44	47	50	44	58	61	64	65	72	84	84	84	82	82
m1b		0	12	15	44	47	50	44	58	61	64	65	72	84	84	84	82	82
m2a			0	3	33	36	39	33	47	50	53	54	61	73	73	73	71	71
m2b				0	30	33	36	30	44	47	50	51	58	70	70	70	68	68
m3a					0	3	6	3	14	17	20	21	28	40	40	40	38	38
m3b						0	3	6	17	20	23	24	31	43	43	43	41	41
m3c							0	9	20	23	26	29	34	46	46	46	44	44
m4								0	14	17	20	21	28	40	40	40	38	38
m5a									0	3	6	7	14	26	26	26	23	23
m5b										0	3	10	17	29	29	29	26	26
m5c											0	13	20	32	32	32	29	29
m6a												0	7	19	19	19	16	16
m7a													0	12	12	12	9	9
m8a														0	3	3	16	16
m8b															0	3	16	16
m8c																0	16	16
m9a																	0	3
m10a																		0

1.1. Prijem porudžbina i kreiranje grupa predmeta rada

Polazna osnova za studiju slučaja jeste istraživanje objavljeno u radu (Suzić et al. 2012). Kako bi se ispitala mogućnost primene virtuelnih proizvodnih ćelija prethodno je sprovedeno istraživanje koje je ispitivalo primenu grupne tehnologije u posmatranom proizvodnom sistemu. Grupna tehnologija je predložena kao moguće rešenje organizovanja proizvodnih procesa, s obzirom da preduzeće želi omogućiti kupcima da u većoj meri odlučuju o izgledu proizvoda što povećava varijantnost proizvodnog miksa. Rezultati istraživanja su pokazali da je preduzeće pogodno za primenu grupne tehnologije i samim tim je stvorena osnova za virtuelne proizvodne ćelije kako bi preduzeće odgovorilo na zahteve kupaca.

U fazi prijema porudžbina kreirane su porudžbine za 10 proizvoda. Kada se količine iz porudžbina za proizvodima prevedu u količine predmeta rada (delove), dobijaju se količine date u tabeli 9.

Tabela 9. Porudžbina za predmete rada u komadima

D01	D02	D03	D04	D05	D11	D12	D2	D31	D32	D4	D5	D61	D62	D63
12384	2097	752	6464	752	3046	3046	1738	954	954	1959	927	8343	16686	8343
D64	D65	D71	D72	D8	D9	D101	D102	D103	D104	D105	D111	D112	D121	D122
8343	8343	999	999	752	752	3008	6016	3008	3008	3008	860	860	233	233

Na osnovu matrice učestalosti iz tabele 5 moguće je kreirati koeficijente sličnosti za delove proizvoda. Koeficijenti sličnosti su prikazani u tabeli 10. Identifikovane grupe predmeta rada su date u tabeli 11.

Tabela 10. Koefficienti sličnosti za predmete rada

	D01	D02	D03	D04	D05	D11	D12	D2	D31	D32	D4	D5	D61	D62	D63	D64	D65	D71	D72	D8	D9	D101	D102	D103	D104	D105	D111	D112	D121	D122
D01																														
D02	0																													
D03	0,25	0,2																												
D04	0	0,33	0																											
D05	1	0	0,25	0																										
D11	0	1	0,2	0,33	0																									
D12	0	1	0,2	0,33	0	1																								
D2	0	0,4	0	0,25	0	0,4	0,4																							
D31	0,5	0,17	0,75	0	0,5	0,17	0,17	0																						
D32	0,5	0,17	0,75	0	0,5	0,17	0,17	0	1																					
D4	0	0,4	0	0,25	0	0,4	0,4	1	0	0																				
D5	0	0,4	0	0,25	0	0,4	0,4	1	0	0	1																			
D61	0,67	0	0,2	0	0,67	0	0	0	0,4	0,4	0	0																		
D62	0,67	0	0,2	0	0,67	0	0	0	0,4	0,4	0	0	1																	
D63	0,67	0	0,2	0	0,67	0	0	0	0,4	0,4	0	0	1	1																
D64	0,5	0	0,33	0	0,5	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0,33	0,33	0,33															
D65	0,5	0	0,17	0	0,5	0	0	0,14	0,33	0,33	0,14	0,14	0,75	0,75	0,75	0,25														
D71	0,5	0,17	0,75	0	0,5	0,17	0,17	0	1	1	0	0	0,4	0,4	0,4	0,25	0,33													
D72	0,5	0,17	0,75	0	0,5	0,17	0,17	0	1	1	0	0	0,4	0,4	0,4	0,25	0,33	1												
D8	0	0,4	0	0,25	0	0,4	0,4	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0,14	0	0											
D9	0	0,4	0	0,25	0	0,4	0,4	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0,14	0	0	1										
D101	0,67	0	0,2	0	0,67	0	0	0	0,4	0,4	0	0	1	1	1	0,33	0,75	0,4	0,4	0	0									
D102	0,67	0	0,2	0	0,67	0	0	0	0,4	0,4	0	0	1	1	1	0,33	0,75	0,4	0,4	0	0	1								
D103	0,67	0	0,2	0	0,67	0	0	0	0,4	0,4	0	0	1	1	1	0,33	0,75	0,4	0,4	0	0	1	1							
D104	0	0,33	0	1	0	0,33	0,33	0,25	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25	0	0	0						
D105	0,5	0	0,17	0	0,5	0	0	0,14	0,33	0,33	0,14	0,14	0,75	0,75	0,75	0,25	1	0,33	0,33	0,14	0,14	0,75	0,75	0,75	0					
D111	0	0,75	0,17	0,25	0	0,75	0,75	0,6	0,14	0,14	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0,14	0,14	0,6	0,6	0	0	0	0,25	0				
D112	0	0,75	0,17	0,25	0	0,75	0,75	0,6	0,14	0,14	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0,14	0,14	0,6	0,6	0	0	0	0,25	0	1			
D121	0	0,75	0,17	0,25	0	0,75	0,75	0,6	0,14	0,14	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0,14	0,14	0,6	0,6	0	0	0	0,25	0	1	1		
D122	0	0,75	0,17	0,25	0	0,75	0,75	0,6	0,14	0,14	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0,14	0,14	0,6	0,6	0	0	0	0,25	0	1	1	1	

Tabela 11. Identifikovane grupe predmeta rada

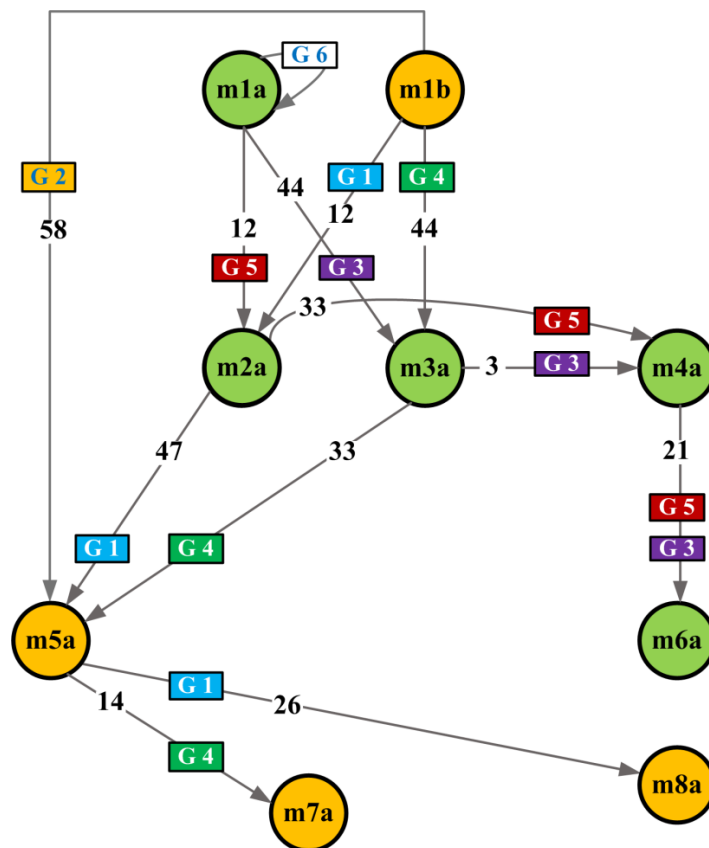
	D61	D62	D63	D65	D101	D102	D103	D105	D01	D05	D64	D02	D11	D12	D111	D112	D121	D122	D03	D31	D32	D71	D72	D2	D4	D5	D8	D9	D04	D104
D61									0,67	0,67		0	0	0					0,2	0,4	0,4			0	0	0			0	
D62	1								0,67	0,67		0	0	0					0,2	0,4	0,4			0	0	0			0	
D63	1	1							0,667	0,667		0	0	0					0,2	0,4	0,4			0	0	0			0	
D65	0,75	0,75	0,75						0,5	0,5	0,25	0	0	0					0,17	0,33	0,33			0,14	0,14	0,14			0	
D101	1	1	1	0,75					0,67	0,67	0,33	0	0	0					0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0
D102	1	1	1	0,75	1				0,67	0,67	0,33	0	0	0					0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0
D103	1	1	1	0,75	1	1			0,67	0,67	0,33	0	0	0					0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0
D105	0,75	0,75	0,75	1	0,75	0,75	0,75		0,5	0,5	0,25	0	0	0					0,17	0,33	0,33	0,33	0,33	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0	0
D01																														
D05									1			0							0,25										0	
D64	0,33	0,33	0,33						0,5	0,5		0	0	0					0,33	0,25	0,25			0	0	0			0	
D02									0																					
D11									0	0		1							0,2										0,33	
D12									0	0		1	1						0,2										0,33	
D111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,75	0,75					0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,25	0,25
D112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,75	0,75	1				0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,25	0,25
D121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,75	0,75	1	1			0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,25	0,25
D122	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,75	0,75	1	1	1		0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,25	0,25
D03									0,25			0,2																		
D31									0,5	0,5		0,17	0,17	0,17					0,75					0					0	
D32									0,5	0,5		0,17	0,17	0,17					0,75	1				0					0	
D71	0,4	0,4	0,4	0,33					0,5	0,5	0,25	0,17	0,17	0,17					0,75	1	1			0	0	0			0	
D72	0,4	0,4	0,4	0,33					0,5	0,5	0,25	0,17	0,17	0,17					0,75	1	1	1		0	0	0			0	
D2									0	0		0,4	0,4	0,4					0										0,25	
D4									0	0		0,4	0,4	0,4					0	0	0			1					0,25	
D5									0	0		0,4	0,4	0,4					0	0	0			1	1				0,25	
D8	0	0	0	0,14					0	0	0	0,4	0,4	0,4					0	0	0	0	0	1	1	1			0,25	
D9	0	0	0	0,14					0	0	0	0,4	0,4	0,4					0	0	0	0	0	1	1	1	1		0,25	
D04									0			0,33							0											
D104	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0,33	0,33	0,33					0	0	0	0	0	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	1	

1.2. Kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija, postavljanje parametara sistema upravljanja periodičnim serijama i izrada terminskih planova

Za početnu dužinu perioda P uzeto je vreme od 4800 minuta koje odgovara šesnaestočasovnom radnom vremenu (u dve radne smene) u toku pet radnih dana. Proizvodnja se odvija prema tehnološkom postupku u okviru jedne faze obrade, te je $N=1$. Količine predmeta rada iz tabele 9 se usvajaju kao količine operativnog plana.

Grupisanje tehnoloških sistema odnosno kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija se vrši na osnovu grupa delova odnosno predmeta rada, tehnoloških postupaka obrade, raspoloživih kapaciteta tehnoloških sistema, kriterijuma postavljenih za period P i principa minimalnih rastojanja.

Na slici 29 je prikazan graf početnih konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija čiji čvorovi predstavljaju tehnološke sisteme koji su povezani granama, a težina grane odgovara rastojanju između tehnoloških sistema. Tehnološki sistemi su označeni u dve boje u zavisnosti od toga da li pripadaju virtuelnoj proizvodnoj ćeliji 1 (zeleno) ili virtuelnoj proizvodnoj ćeliji 2 (narandžasto). Na grafu su prikazane i grupe predmeta rada kao dodatni atributi odgovarajućih grana grafa. Programski kod za određivanje virtuelnih proizvodnih ćelija putem Dijkstra algoritma je dat u prilogu P1.



Slika 29. Graf virtuelnih proizvodnih ćelija

Početna konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija je data u tabeli 12. Grupe predmeta rada koje odgovaraju virtuelnim proizvodnim ćelijama su date u tabeli 13. Međućelijski transport postoji kod grupe predmeta rada 1 (m1b-m2a-m5a) i kod grupe predmeta rada 4 (m1b-m3a-m5a).

Tabela 12. Početna konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija u proizvodnom sistemu

Virtuelna proizvodna ćelija	Oznake tehnoloških sistema
1	m1a,m2a,m3a, m4a, m6a
2	m1b, m5a, m7a, m8a

Tabela 13. Grupe predmeta rada i virtuelne proizvodne ćelije

Virtuelna proizvodna ćelija	Oznake grupa predmeta rada
1	3, 5, 6
2	1, 2, 4

Provera uslova za period P počinje proračunom opterećenje-efektivni kapacitet. Efektivni kapacitet svakog tehnološkog sistema iznosi 3510 minuta. U tabeli 14 je prikazano opterećenje po tehnološkim sistemima za predmete rada i njihove grupe.

Tabela 14. Opterećenje tehnoloških sistema [minut]

Predmeti rada	Teh. sistemi		m1a	m1b	m2a	m3a	m4a	m5a	m6a	m7a	m8a
	Količina [komad]	t[sekund]									
			grupa 1								
D61	2025	t_{ii}		6				12			66
D62	4050	t_{ii}		7				17			60
D63	2025	t_{ii}		6				12			30
D65	2025	t_{ii}		7	9			28			50
D101	812	t_{ii}		8				14			72
D102	1624	t_{ii}		7				20			60
D103	812	t_{ii}		8				17			32
D105	812	t_{ii}		8	9			56			54
Uk. opter. po grupi [minut]			0	1629	426	0	0	4622	0	0	12740
			grupa 2								
Pred. rada	Količina [komad]	t									
D01	2632	t_{ii}		7				14			
D05	203	t_{ii}		8				17			
D64	2025	t_{ii}		5							
Uk. opter. po grupi [minut]			0	503	0	0	0	672	0	0	0
			grupa 3								
Pred. rada	Količina [komad]	t[sekund]									
D02	457	t_{ii}	11			11			43		
D11	636	t_{ii}	11			12			22		
D12	636	t_{ii}	11			12			23		
D111	221	t_{ii}	10			11	8		23		
D112	221	t_{ii}	10			11	8		10		
D121	40	t_{ii}	11			13	8		25		
D122	40	t_{ii}	11			12	8		13		
Uk. opter. po grupi			406	0	0	436	70	0	952	0	0

Pred. rada	Količina [komad]	t[sekund]	grupa 4								
D03	203	t_{ii}		8		9				35	
D31	195	t_{ii}		7		7		14		10	
D32	195	t_{ii}		7		6		14		12	
D71	180	t_{ii}		8		9		23		20	
D72	180	t_{ii}		8		9		23		10	
Uk. opter. po grupi [minut]			0	121	0	127	0	229	0	280	0
Pred. rada	Količina [komad]	t[sekund]	grupa 5								
D2	338	t_{ii}	11		26		10		20		
D4	367	t_{ii}	11		26		10		20		
D5	225	t_{ii}	9		22		10		20		
D8	203	t_{ii}	10		22		10		9		
D9	203	t_{ii}	10		22		10		9		
Uk. opter. po grupi [minut]			231	0	537	0	223	0	371	0	0
Pred. rada	Količina [komad]	t[sekund]	grupa 6								
D04	1378	t_{ii}	11								
D104	812	t_{ii}	9								
Uk. opter. po grupi [minut]			375	0	0	0	0	0	0	0	0

U tabeli 15 su prikazana ukupna opterećenja za tehnološke sisteme po grupama predmeta rada.

Tabela 15. Ukupno opterećenje tehnoloških sistema

Oznaka tehnološkog sistema	Ukupno opterećenje tehnološkog sistema [minut]
M1a	1012
M1b	2253
M2a	963
M3a	563
M4a	293
M5a	5523
M6a	1323
M7a	280
M8a	12740

Iz tabele 15 se uočava preopterećenje kapaciteta i premašivanje perioda P na tehnološkim sistemima m5a i m8a. Uključivanjem dodatnih tehnoloških sistema u postojeće virtualne proizvodne ćelije se smanjuje preopterećenje. Uključeni su tehnološki sistemi m5b, m5c, m8b, m8c i fleksibilni obradni centar m9a, kao što je prikazano u tabeli 16.

Tabela 16. Konfiguracija virtualnih proizvodnih ćelija

Virtualna proizvodna ćelija	Oznake tehnoloških sistema
1	m1a, m2a, m3a, m4a, m6a
2	m1b, m5a, m5b, m5c, m7a, m8a, m8b, m8c, m9a

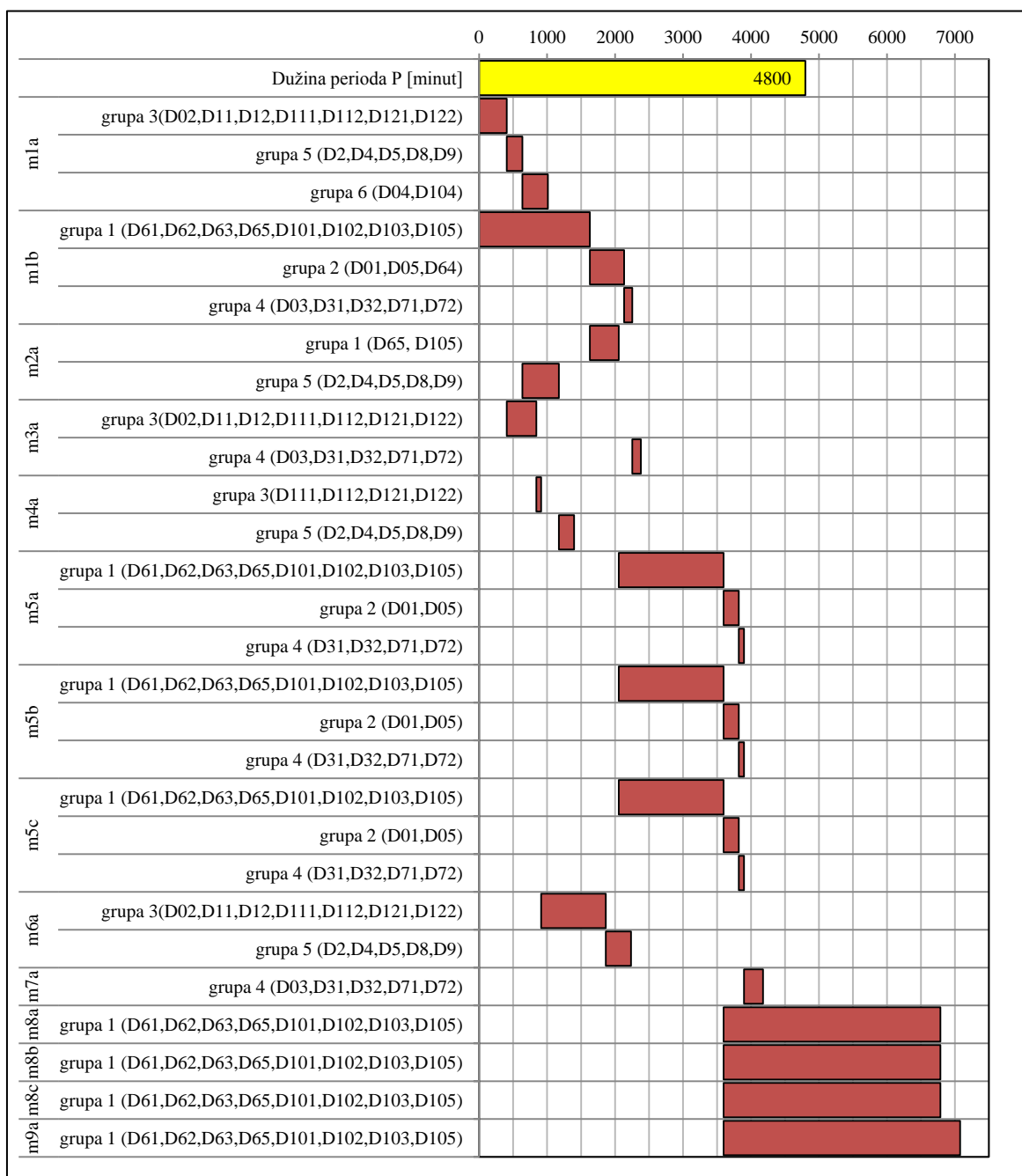
Dalja provera uslova za period P se odnosi na vreme trajanja ciklusa proizvodnje za grupe predmeta rada. Terminiranjem grupa predmeta rada na virtualne proizvodne ćelije se

proverava da li se zahtevi za proizvodnjom predmeta rada mogu ispuniti u okviru zadatog vremenskog perioda. U tabeli 17 je dat terminski plan za redni postupak prelaska grupa predmeta rada sa operacije na operaciju. Na slici 30 je dat Gant dijagram rednog postupka prelaska. Za grupu predmeta rada koja ima vreme trajanja ciklusa proizvodnje veće od P (grupa 1), odnosno grupu koja ne zadovoljava uslov postavljen za zadati planski period, urađena je promena postupka prelaska sa operacije na operaciju (paralelni i kombinovani), što je prikazano u terminskim planovima proizvodnje datim u tabelama 18 i 19 respektivno. Nakon svakog tabelarnog proračuna slede odgovarajući Gant dijagrami. Grupa 1 se za paralelni postupak prelaska obrađuje u 3 partije (tabela 18 i slika 31), a za kombinovani postupak prelaska broj partija grupe 1 je povećan sa 3 na 21 radi zadovoljenja postavljenih uslova za period P (tabela 19 i slike 32, 33, 34, 35 i 36). Kompleksnost upravljanja proizvodnjom se uvećava prelaskom na paralelni ili kombinovani postupak prelaska grupa predmeta rada. Optimizacija faktora poput veličine partije predmeta rada iz grupe predmeta rada, smanjenja nedovršene proizvodnje predmeta rada i količine kretanja materijala između radnih mesta nije uzimana u razmatranje iz razloga što to nije predmet istraživanja doktorske disertacije.

Tabela 17. Terminski plan proizvodnje (redni postupak prelaska grupa predmeta rada)

Teh. sistem	Grupa	Ukupno vreme obrade [minut]	Početak obrade [minut]	Završetak obrade [minut]	Trajanje planskog perioda P [minut]
m1a	grupa 3(D02,D11,D12,D111,D112,D121,D122)	406	0	406	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	231	406	637	4800
	grupa 6 (D04,D104)	375	637	1012	4800
m1b	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105)	1629	0	1629	4800
	grupa 2 (D01,D05,D64)	503	1629	2132	4800
	grupa 4 (D03,D31,D32,D71,D72)	121	2132	2253	4800
m2a	grupa 1 (D65, D105)	426	1629	2055	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	537	637	1174	4800
m3a	grupa 3(D02,D11,D12,D111,D112,D121,D122)	436	406	842	4800
	grupa 4 (D03,D31,D32,D71,D72)	127	2253	2380	4800
m4a	grupa 3(D111,D112,D121,D122)	70	842	912	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	223	1174	1397	4800
m5a	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105)	1541	2055	3596	4800
	grupa 2 (D01,D05)	224	3596	3820	4800
	grupa 4 (D31,D32,D71,D72)	77	3820	3897	4800
m5b	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105)	1541	2055	3596	4800
	grupa 2 (D01,D05)	224	3596	3820	4800
	grupa 4 (D31,D32,D71,D72)	77	3820	3897	4800
m5c	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105)	1541	2055	3596	4800

	grupa 2 (D01,D05)	224	3596	3820	4800
	grupa 4 (D31,D32,D71,D72)	77	3820	3897	4800
m6a	grupa 3(D02,D11,D12,D111,D112,D121,D122)	952	912	1864	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	371	1864	2235	4800
m7a	grupa 4 (D03,D31,D32,D71,D72)	280	3897	4177	4800
m8a	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105)	3190	3596	6786	4800
m8b	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105)	3190	3596	6786	4800
m8c	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105)	3190	3596	6786	4800
m9a	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105)	3481	3596	7077	4800

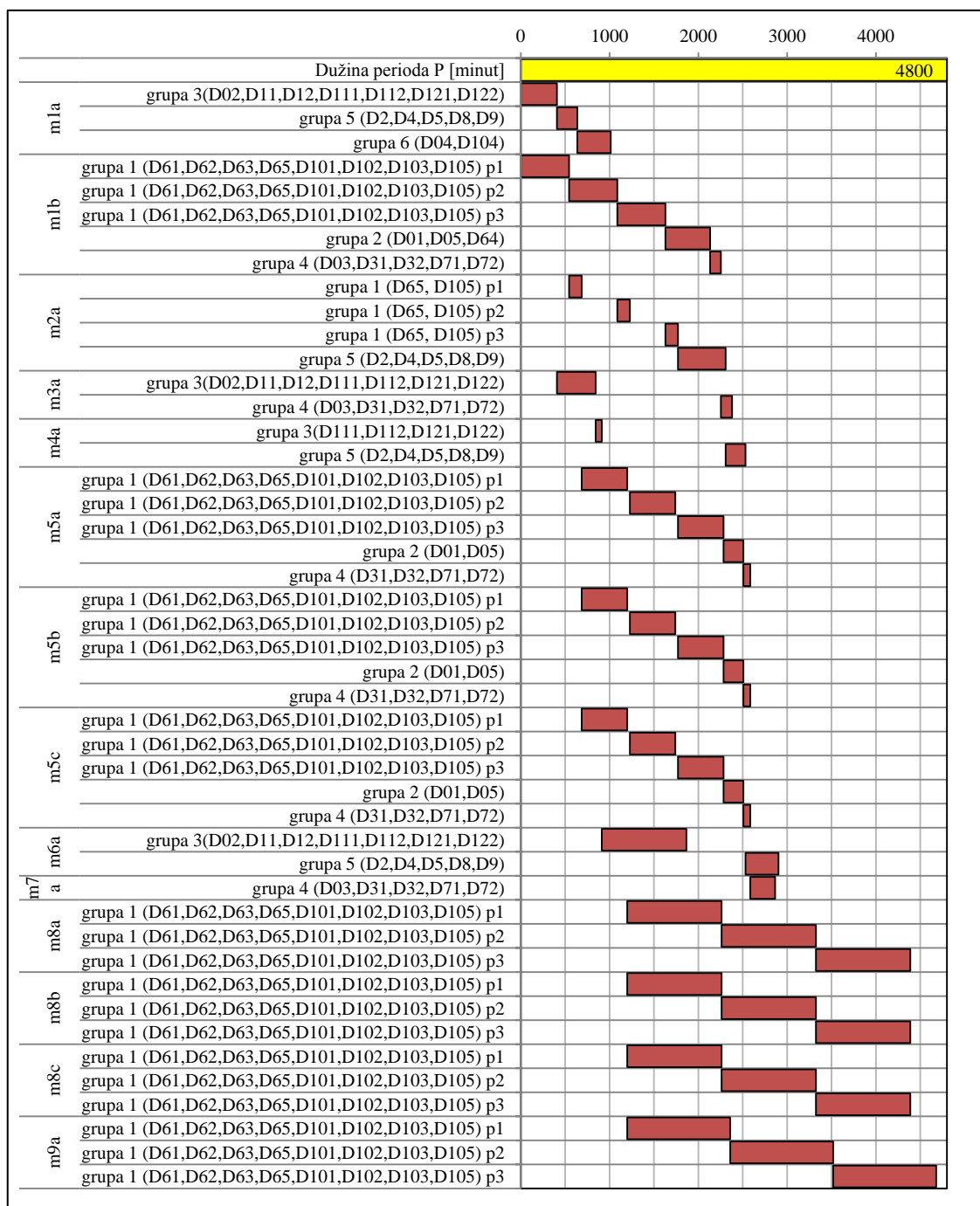


Slika 30. Gant dijagram za redni postupak prelaska grupa predmeta rada

Tabela 18. Terminski plan proizvodnje (paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada)

Teh. sistem	Grupa	Ukupno vreme obrade [minut]	Početak obrade [minut]	Završetak obrade [minut]	Trajanje planskog perioda P [minut]
m1a	grupa 3(D02,D11,D12,D111,D112,D121,D122)	406	0	406	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	231	406	637	4800
	grupa 6 (D04,D104)	375	637	1012	4800
m1b	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	543	0	543	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	543	543	1086	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	543	1086	1629	4800
	grupa 2 (D01,D05,D64)	503	1629	2132	4800
	grupa 4 (D03,D31,D32,D71,D72)	121	2132	2253	4800
m2a	grupa 1 (D65, D105) p1	142	543	685	4800
	grupa 1 (D65, D105) p2	142	1086	1228	4800
	grupa 1 (D65, D105) p3	142	1629	1771	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	537	1771	2308	4800
m3a	grupa 3(D02,D11,D12,D111,D112,D121,D122)	436	406	842	4800
	grupa 4 (D03,D31,D32,D71,D72)	127	2253	2380	4800
m4a	grupa 3(D111,D112,D121,D122)	70	842	912	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	223	2308	2531	4800
m5a	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	513	685	1198	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	513	1228	1741	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	513	1771	2284	4800
	grupa 2 (D01,D05)	224	2284	2508	4800
	grupa 4 (D31,D32,D71,D72)	77	2508	2585	4800
m5b	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	513	685	1198	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	513	1228	1741	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	513	1771	2284	4800
	grupa 2 (D01,D05)	224	2284	2508	4800
	grupa 4 (D31,D32,D71,D72)	77	2508	2585	4800
m5c	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	513	685	1198	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	513	1228	1741	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	513	1771	2284	4800
	grupa 2 (D01,D05)	224	2284	2508	4800
	grupa 4 (D31,D32,D71,D72)	77	2508	2585	4800
m6a	grupa 3(D02,D11,D12,D111,D112,D121,D122)	952	912	1864	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	371	2531	2902	4800
m7a	grupa 4 (D03,D31,D32,D71,D72)	280	2585	2865	4800
m8a	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	1063	1198	2261	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	1063	2262	3325	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	1063	3325	4388	4800
m8b	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	1063	1198	2261	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	1063	2262	3325	4800

	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	1063	3325	4388	4800
m8c	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	1063	1198	2261	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	1063	2262	3325	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	1063	3325	4388	4800
m9a	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	1160	1198	2358	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	1160	2359	3519	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	1160	3519	4679	4800



Slika 31. Gant dijagram za paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada

Tabela 19. Terminski plan proizvodnje (kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada)

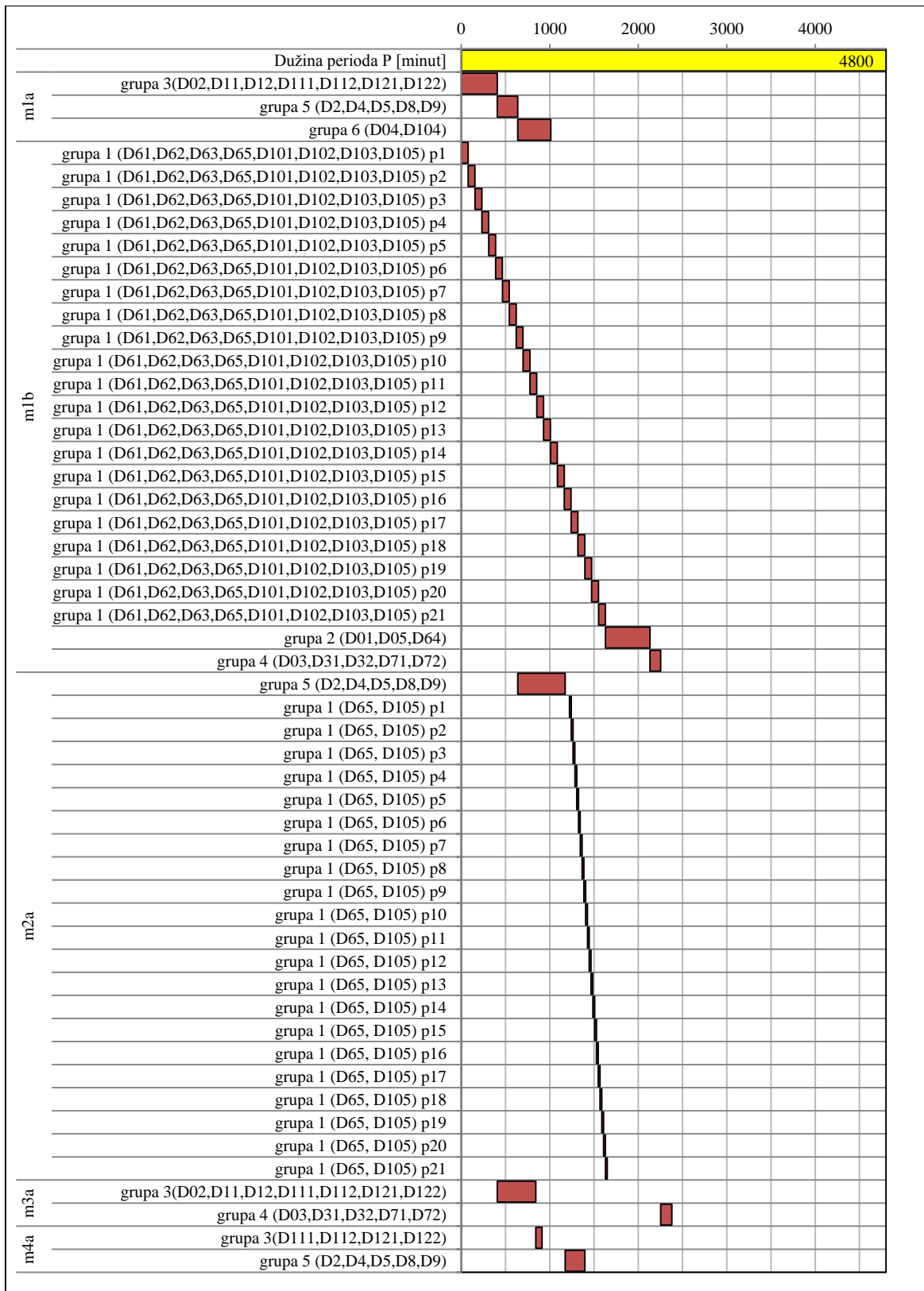
Teh. sistem	Grupa	Ukupno vreme obrade [minut]	Početak obrade [minut]	Završetak obrade [minut]	Trajanje planskog perioda P [minut]
m1a	grupa 3(D02,D11,D12,D111,D112,D121,D122)	406	0	406	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	231	406	637	4800
	grupa 6 (D04,D104)	375	637	1012	4800
m1b	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	77	0	77	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	77	77	154	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	77	155	232	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p4	77	232	309	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p5	77	310	387	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p6	77	387	464	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p7	77	465	542	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p8	77	543	620	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p9	77	620	697	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p10	77	698	775	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p11	77	775	852	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p12	77	853	930	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p13	77	930	1007	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p14	77	1008	1085	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p15	77	1086	1163	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p16	77	1163	1240	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p17	77	1241	1318	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p18	77	1318	1395	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p19	77	1396	1473	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p20	77	1473	1550	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p21	77	1551	1628	4800
grupa 2 (D01,D05,D64)	503	1629	2132	4800	
grupa 4 (D03,D31,D32,D71,D72)	121	2132	2253	4800	
m2a	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	537	637	1174	4800
	grupa 1 (D65, D105) p1	20	1223	1243	4800
	grupa 1 (D65, D105) p2	20	1243	1263	4800
	grupa 1 (D65, D105) p3	20	1263	1283	4800
	grupa 1 (D65, D105) p4	20	1284	1304	4800
	grupa 1 (D65, D105) p5	20	1304	1324	4800
	grupa 1 (D65, D105) p6	20	1324	1344	4800
	grupa 1 (D65, D105) p7	20	1345	1365	4800
	grupa 1 (D65, D105) p8	20	1365	1385	4800
	grupa 1 (D65, D105) p9	20	1385	1405	4800
	grupa 1 (D65, D105) p10	20	1405	1425	4800
	grupa 1 (D65, D105) p11	20	1426	1446	4800
grupa 1 (D65, D105) p12	20	1446	1466	4800	

	grupa 1 (D65, D105) p13	20	1466	1486	4800
	grupa 1 (D65, D105) p14	20	1487	1507	4800
	grupa 1 (D65, D105) p15	20	1507	1527	4800
	grupa 1 (D65, D105) p16	20	1527	1547	4800
	grupa 1 (D65, D105) p17	20	1547	1567	4800
	grupa 1 (D65, D105) p18	20	1568	1588	4800
	grupa 1 (D65, D105) p19	20	1588	1608	4800
	grupa 1 (D65, D105) p20	20	1608	1628	4800
	grupa 1 (D65, D105) p21	20	1629	1649	4800
m3a	grupa 3(D02,D11,D12,D111,D112,D121,D122)	436	406	842	4800
	grupa 4 (D03,D31,D32,D71,D72)	127	2253	2380	4800
m4a	grupa 3(D111,D112,D121,D122)	70	842	912	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	223	1174	1397	4800
m5a	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	73	1243	1316	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	73	1316	1389	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	73	1390	1463	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p4	73	1463	1536	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p5	73	1537	1610	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p6	73	1610	1683	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p7	73	1683	1756	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p8	73	1757	1830	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p9	73	1830	1903	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p10	73	1904	1977	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p11	73	1977	2050	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p12	73	2050	2123	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p13	73	2124	2197	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p14	73	2197	2270	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p15	73	2270	2343	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p16	73	2344	2417	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p17	73	2417	2490	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p18	73	2491	2564	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p19	73	2564	2637	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p20	73	2637	2710	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p21	73	2711	2784	4800
		grupa 2 (D01,D05)	224	2784	3008
	grupa 4 (D31,D32,D71,D72)	77	3008	3085	4800
m5b	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	73	1243	1316	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	73	1316	1389	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	73	1390	1463	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p4	73	1463	1536	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p5	73	1537	1610	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p6	73	1610	1683	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p7	73	1683	1756	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p8	73	1757	1830	4800

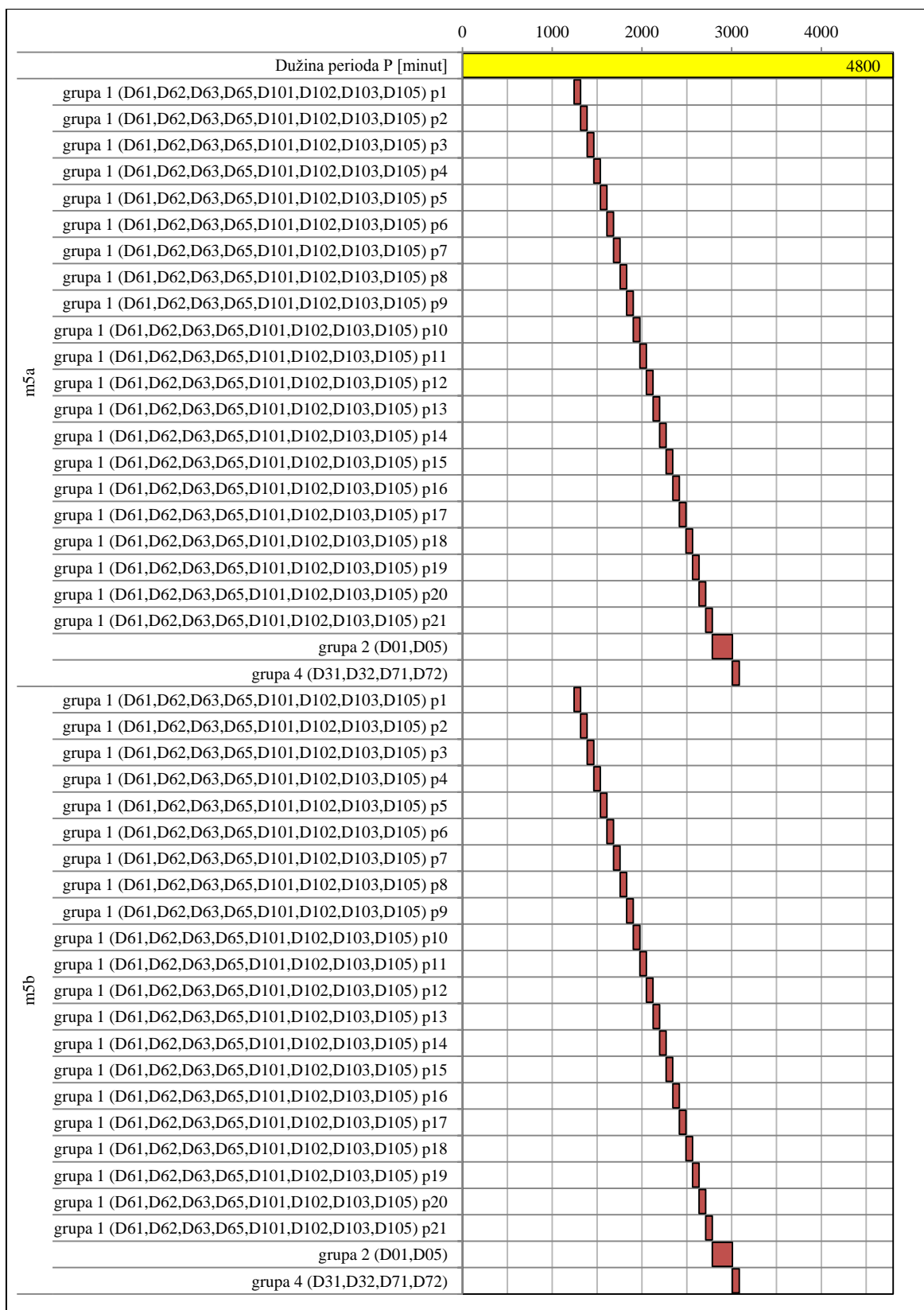
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p9	73	1830	1903	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p10	73	1904	1977	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p11	73	1977	2050	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p12	73	2050	2123	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p13	73	2124	2197	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p14	73	2197	2270	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p15	73	2270	2343	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p16	73	2344	2417	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p17	73	2417	2490	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p18	73	2491	2564	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p19	73	2564	2637	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p20	73	2637	2710	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p21	73	2711	2784	4800
	grupa 2 (D01,D05)	224	2784	3008	4800
	grupa 4 (D31,D32,D71,D72)	77	3008	3085	4800
m5c	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	73	1243	1316	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	73	1316	1389	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	73	1390	1463	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p4	73	1463	1536	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p5	73	1537	1610	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p6	73	1610	1683	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p7	73	1683	1756	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p8	73	1757	1830	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p9	73	1830	1903	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p10	73	1904	1977	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p11	73	1977	2050	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p12	73	2050	2123	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p13	73	2124	2197	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p14	73	2197	2270	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p15	73	2270	2343	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p16	73	2344	2417	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p17	73	2417	2490	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p18	73	2491	2564	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p19	73	2564	2637	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p20	73	2637	2710	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p21	73	2711	2784	4800
grupa 2 (D01,D05)	224	2784	3008	4800	
grupa 4 (D31,D32,D71,D72)	77	3008	3085	4800	
m6a	grupa 3(D02,D11,D12,D111,D112,D121,D122)	952	912	1864	4800
	grupa 5 (D2,D4,D5,D8,D9)	371	1864	2235	4800
m7a	grupa 4 (D03,D31,D32,D71,D72)	280	3085	3365	4800
m8a	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	151	1316	1467	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	151	1468	1619	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	151	1620	1771	4800

	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p4	151	1772	1923	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p5	151	1924	2075	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p6	151	2076	2227	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p7	151	2228	2379	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p8	151	2380	2531	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p9	151	2532	2683	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p10	151	2684	2835	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p11	151	2836	2987	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p12	151	2987	3138	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p13	151	3139	3290	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p14	151	3291	3442	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p15	151	3443	3594	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p16	151	3595	3746	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p17	151	3747	3898	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p18	151	3899	4050	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p19	151	4051	4202	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p20	151	4203	4354	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p21	151	4355	4506	4800
m8b	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	151	1316	1467	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	151	1468	1619	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	151	1620	1771	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p4	151	1772	1923	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p5	151	1924	2075	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p6	151	2076	2227	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p7	151	2228	2379	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p8	151	2380	2531	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p9	151	2532	2683	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p10	151	2684	2835	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p11	151	2836	2987	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p12	151	2987	3138	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p13	151	3139	3290	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p14	151	3291	3442	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p15	151	3443	3594	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p16	151	3595	3746	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p17	151	3747	3898	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p18	151	3899	4050	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p19	151	4051	4202	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p20	151	4203	4354	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p21	151	4355	4506	4800
m8c	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	151	1316	1467	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	151	1468	1619	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	151	1620	1771	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p4	151	1772	1923	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p5	151	1924	2075	4800

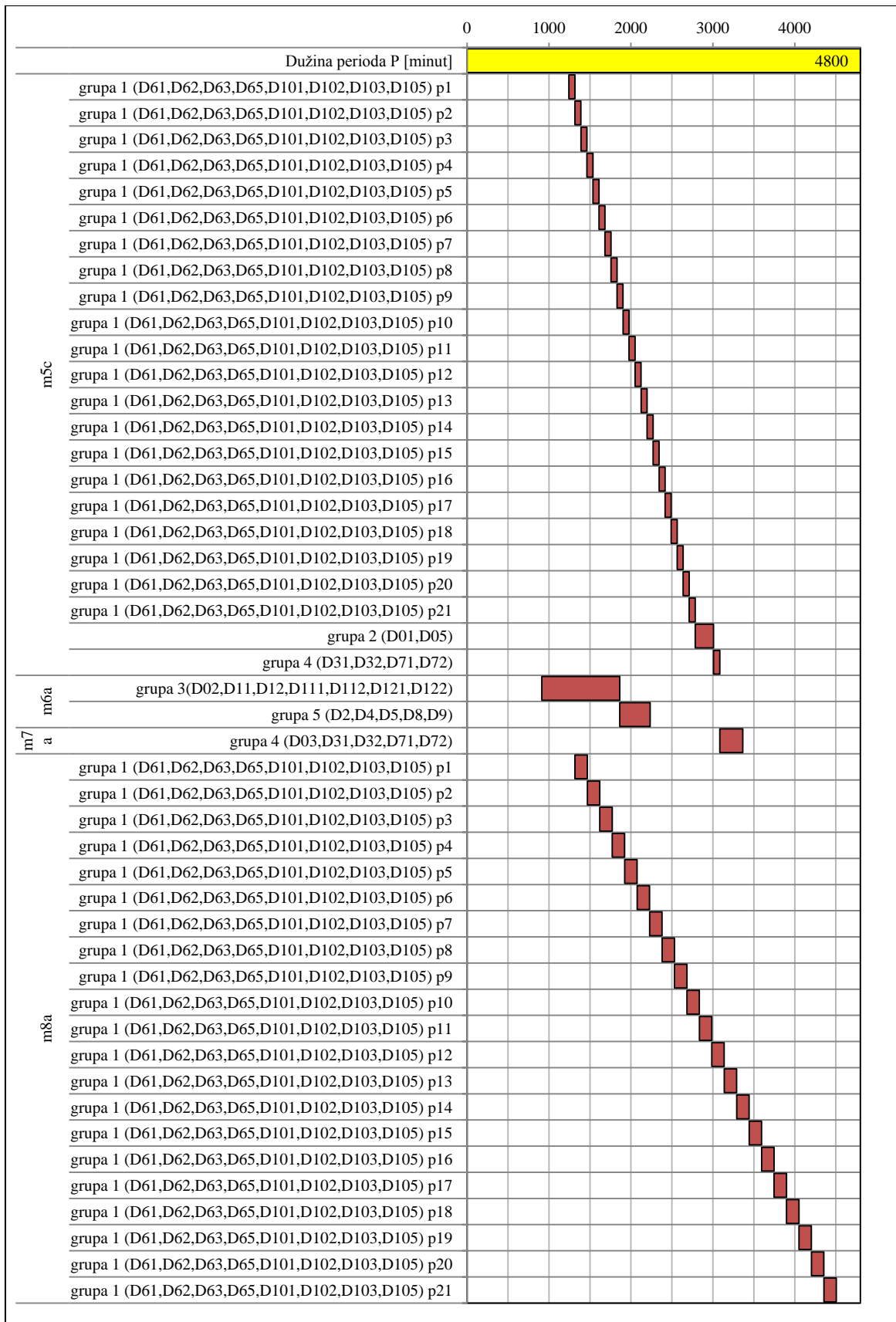
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p6	151	2076	2227	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p7	151	2228	2379	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p8	151	2380	2531	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p9	151	2532	2683	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p10	151	2684	2835	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p11	151	2836	2987	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p12	151	2987	3138	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p13	151	3139	3290	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p14	151	3291	3442	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p15	151	3443	3594	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p16	151	3595	3746	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p17	151	3747	3898	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p18	151	3899	4050	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p19	151	4051	4202	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p20	151	4203	4354	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p21	151	4355	4506	4800
m9a	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p1	165	1316	1481	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p2	165	1482	1647	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p3	165	1648	1813	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p4	165	1814	1979	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p5	165	1980	2145	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p6	165	2145	2310	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p7	165	2311	2476	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p8	165	2477	2642	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p9	165	2643	2808	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p10	165	2808	2973	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p11	165	2974	3139	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p12	165	3140	3305	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p13	165	3306	3471	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p14	165	3471	3636	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p15	165	3637	3802	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p16	165	3803	3968	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p17	165	3969	4134	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p18	165	4134	4299	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p19	165	4300	4465	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p20	165	4466	4631	4800
	grupa 1 (D61,D62,D63,D65,D101,D102,D103,D105) p21	165	4632	4797	4800



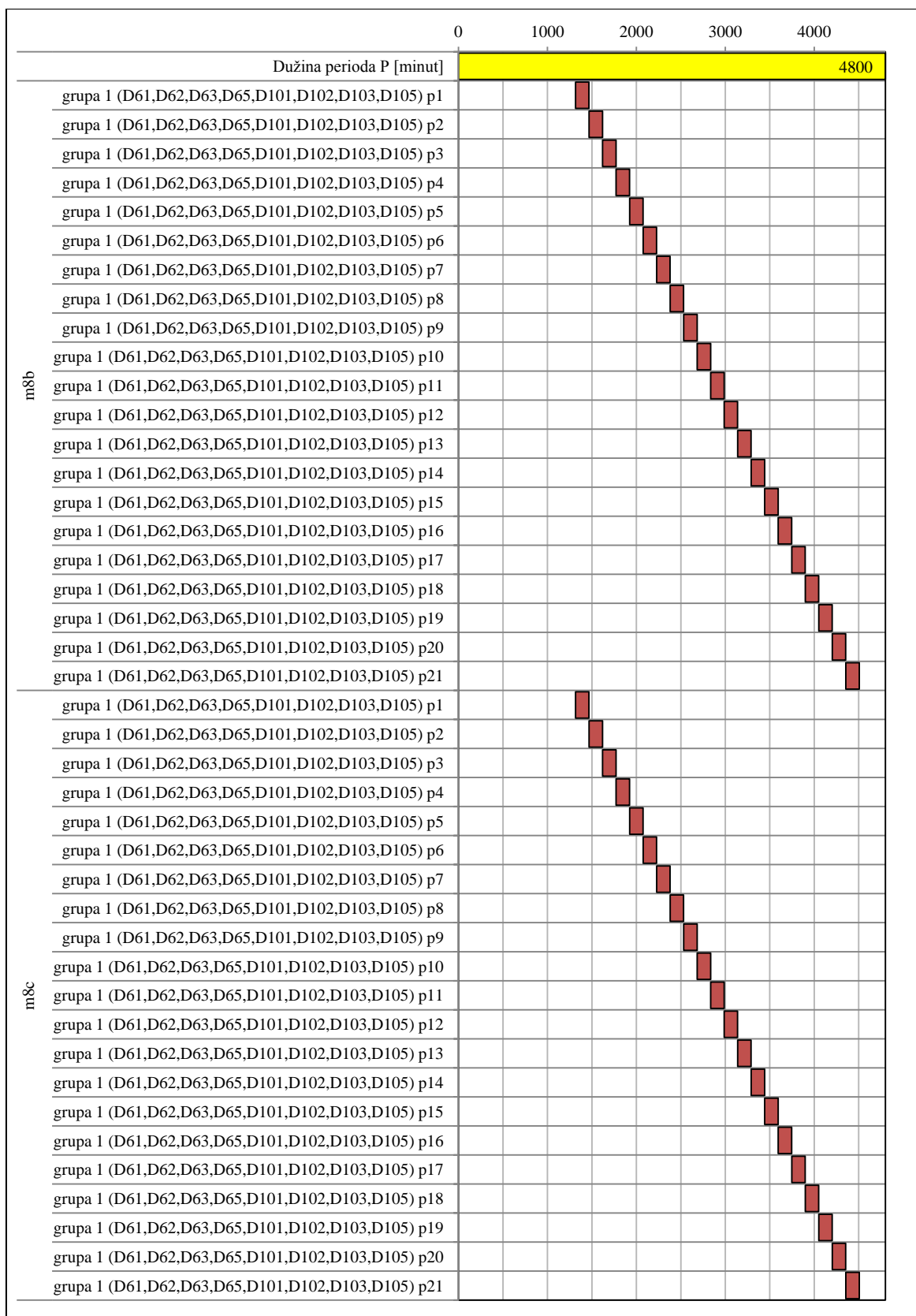
Slika 32. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (od tehnološkog sistema m1a do tehnološkog sistema m4a)



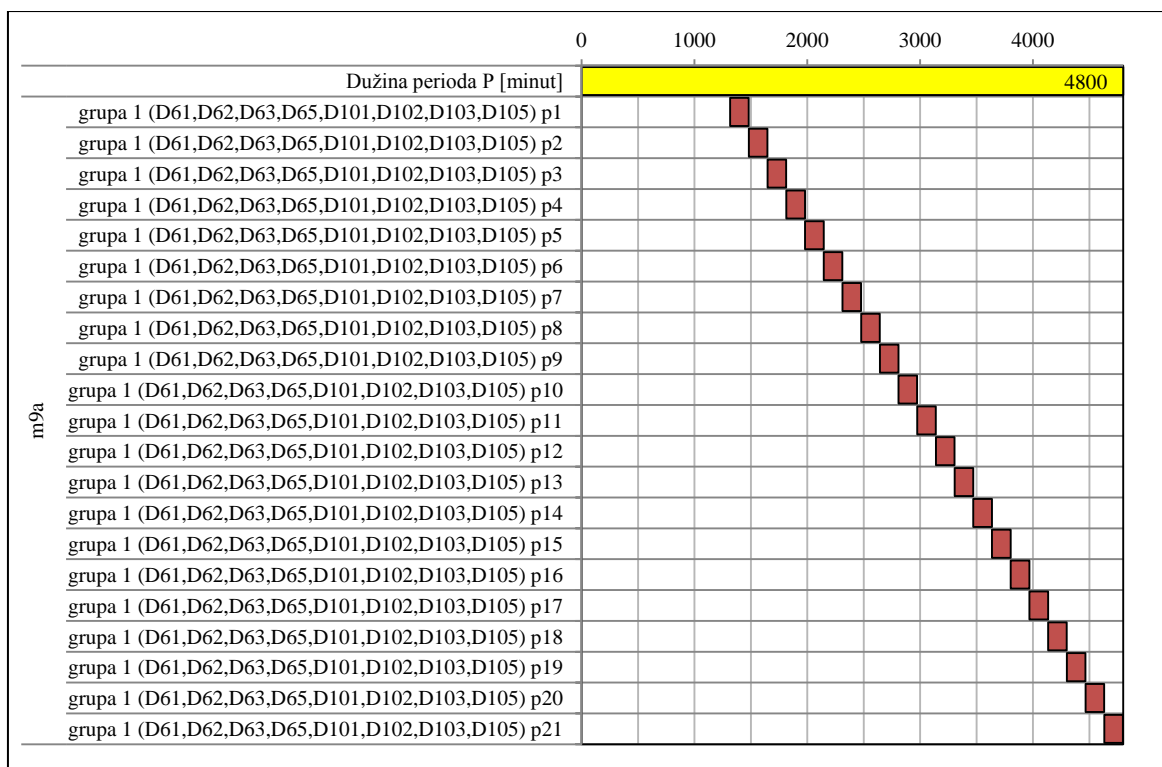
Slika 33. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (od tehnološkog sistema m5a do tehnološkog sistema m5b)



Slika 34. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (od tehnološkog sistema m5c do tehnološkog sistema m8a)



Slika 35. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (od tehnološkog sistema m8b do tehnološkog sistema m8c)



Slika 36. Gant dijagram za kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (tehnološki sistem m9a)

1.3. Simulacija

Simulacija procesa proizvodnje je korisna što se putem nje mogu proveriti odgovarajuća rešenja, prikupiti podaci i parametarska statistika o posmatranom procesu i njegovim sastavnim delovima. Za potrebe prve studije slučaja kreirana su tri simulaciona modela koja odgovaraju terminskim planovima iz prethodnog podpoglavlja. Za potrebe kreiranja simulacionih modela korištena je akademska verzija simulacionog softvera *Arena*. Validacija i verifikacija (logika funkcionisanja i verodostojnost predstavljanja realnog sistema) simulacionog modela su izvršene testiranjem svakog modela prema količini grupa predmeta rada koje izlaze iz procesa proizvodnje i vremenima završetaka svake obrade grupe predmeta rada. U tabelama 20 i 21 se nalaze podaci koji se odnose na količine i vremena završetaka grupa predmeta rada u virtuelnim proizvodnim ćelijama za svaki od tri terminska plana proizvodnje.

Tabela 20. Broj završenih grupa predmeta rada

Postupak prelaska grupe predmeta rada sa operacije na operaciju	Broj završenih grupa predmeta rada u okviru postavljanog vremena simulacionog eksperimenta
Redni	6
Paralelni	6
Kombinovani	6

Tabela 21. Vremena završetaka obrade grupa predmeta rada

Postupak prelaska grupe predmeta rada sa operacije na operaciju	Vremena završetaka obrade grupa predmeta rada u okviru postavljanog vremena simulacionog eksperimenta [minut]	
Redni	Grupa 1	7077
	Grupa 2	3820
	Grupa 3	1864
	Grupa 4	4177
	Grupa 5	2235
	Grupa 6	1012
Paralelni	Grupa 1	4679
	Grupa 2	2508
	Grupa 3	1864
	Grupa 4	2865
	Grupa 5	2902
	Grupa 6	1012
Kombinovani	Grupa 1	4797
	Grupa 2	3008
	Grupa 3	1864
	Grupa 4	3365
	Grupa 5	2235
	Grupa 6	1012

Iz rezultata se vidi da količine i vremena za svaki kreirani simulacioni model odgovaraju izračunatim vremenima iz terminskih planova, kao i da model daje iste izlaze kao i što je planirano, odnosno može se zaključiti da je ovime potvrđena validnost i verifikacija simulacionih modela.

Vreme trajanja simulacije rednog postupka prelaska je 7100 minuta (jer je to vreme potrebno da se završi proizvodnja svih grupa) i premašuje postavljeni planski period, a vreme trajanja simulacija paralelnog i kombinovanog postupka prelaska iznosi 4800 minuta i ono odgovara postavljenom planskom periodu P. Jedan radni dan ima 16 časova (dve smene po osam časova). Svaki od tri simulaciona eksperimenta je izvršen u 100 replikacija radi verodostojnosti rezultata.

Izgled simulacionih modela neće biti prikazan u doktorskoj disertaciji zbog veličine samih modela. Rezultati sprovedenih eksperimenata (simulacija) su prikazani u priložima i detaljnije će biti diskutovani u narednom poglavlju doktorske disertacije.

2. Studija slučaja proizvodnje priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema (P=9600 minuta, N>1)

Primer obuhvata 31 deo (predmet rada) koji se obrađuju na različitim tehnološkim sistemima. Porudžbine kupaca obuhvataju proizvode u čiji sastav ulaze delovi ili sami delovi. U procesu proizvodnje postoji više tehnoloških sistema istog tipa koji su označeni sa mxy gde x označava redni broj (1, 2, 3...) a y označava slovo (a, b, c,...). Pregled

tehnoloških sistema je dat u tabeli 22. U tabeli 23 je data matrica učestalosti (prema tehnološkim postupcima) za predmete rada i tehnološke sisteme. Vremena obrade i pripremno završna vremena su data u tabeli 24.

Tabela 22. Pregled tehnoloških sistema

Tehnološki sistem	Broj tehnoloških sistema	Oznake tehnoloških sistema
m0	1	m0a
m1	8	m1a, m1b, m1c, m1d, m1e, m1f, m1g, m1h
m2	10	m2a, m2b, m2c, m2d, m2e, m2f, m2g, m2h, m2i, m2j
m3	5	m3a, m3b, m3c, m3d, m3e
m4	4	m4a, m4b, m4c, m4d
m5	2	m5a, m5b
m6	1	m6a
m7	9	m7a, m7b, m7c, m7d, m7e, m7f, m7g, m7h, m7i
m8	3	m8a, m8b, m8c
m9	1	m9a
m10	4	m10a, m10b, m10c, m10d
m11	1	m11a
m12	1	m12a
m13	1	m13a

Tabela 23. Matrica učestalosti

Predmeti rada	Tehnološki sistemi																		
	m0	m1	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m7	m8	m8	m9	m9	m1	m10	m11	m12	m13
D01		1					1		1	1								1	1
D02		1						1	1	1								1	1
D03		1					1		1	1								1	1
D04		1					1				1	1						1	1
D05					1		1		1	1								1	1
D06					1		1						1	1				1	1
D07						1	1						1	1				1	1
D08						1	1						1	1				1	1
D09		1	1					1	1	1								1	1
D10		1	1				1		1	1									1
D11		1	1				1		1	1									1
D12		1		1			1		1	1					1			1	1
D13		1		1			1		1	1					1			1	1
D14	1			1			1		1	1						1		1	1
D15	1			1			1		1	1						1		1	1
D16	1			1			1		1	1					1			1	1
D17	1			1			1		1	1						1		1	1
D18	1					1	1		1	1					1			1	1
D19		1						1	1	1								1	1
D20		1					1		1	1								1	1
D21		1						1	1	1								1	1

D22						1	1		1	1								1	1
D23					1		1				1	1						1	1
D24						1	1		1				1					1	1
D25					1		1						1	1				1	1
D26		1						1	1	1								1	1
D27		1		1				1	1	1									1
D28				1				1	1	1								1	1
D29		1	1					1	1	1					1		1		1
D30		1	1					1	1	1									1
D31		1		1				1	1						1			1	1

Tabela 24. Vremena za predmete rada na tehnološkim sistemima [minut]

Predmeti rada	t	Pripremno-završna i vremena obrade predmeta rada na tehnološkim sistemima																		
		m0	m1	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m7	m8	m8	m9	m9	m1	m10	m11	m12	m13
D01	tpz		100							40	50								0	0
	tii		3,75							0,54	2,85								0,35	0,25
D02	tpz		100						40	50	50								0	
	tii		4,8						0,61	4,2	3,45								0,4	1,13
D03	tpz		100					40		50	50								0	0
	tii		4,8					0,68		3	4,2								0,45	1,55
D04	tpz		100					40				50	50						0	0
	tii		6,2					0,79				6	5,1						0,45	2,16
D05	tpz					100		40		50	50								0	0
	tii					6,5		0,79		4	4,5								0,5	2,04
D06	tpz					100		40						50	50				0	0
	tii					8,4		1,26						4,8	7,5				0,6	2,97
D07	tpz						100	40							50	50			0	0
	tii						12,5	1,58							8,4	10,5			0,83	2,29
D08	tpz						100	40							50	50			0	0
	tii						12,5	1,58							8,4	9,9			1	3,95
D09	tpz		50	100					40	50	50								0	0
	tii		0,9	2,8					0,4	1	1,2								0,1	1
D10	tpz		50	100				40		50	50									0
	tii		1,05	3				0,44		1,1	2									0,25
D11	tpz		50	100				40		50	50									0
	tii		1,05	3				0,44		1,1	1,8									0,25
D12	tpz		50		100			60		50	50					100			0	0
	tii		1,05		8,3			0,5		0,96	0,75					1,4			0,12	0,16
D13	tpz		50		100			60		50	50					100			0	0
	tii		0,77		7			0,4		0,95	0,75					1,2			0,1	0,11
D14	tpz	25,00			100			60		50	50					100			0	0
	tii	1,03			8,5			0,52		1,12	0,9					1,4			0,14	0,21
D15	tpz	25,00			100			60		50	50						100		0	0
	tii	9,20			9,2			0,52		1,05	0,9						1,6		0,16	0,3

D16	tpz	25,00			100			60		50	50					100			0	0
	tii	1,05			10			0,6		1,3	1,2					1,6			0,11	0,31
D17	tpz	25			100			60		50	50					100			0	0
	tii	1,05			9,5			0,6		1,3	1					1,6			0,17	0,29
D18	tpz	25				100		60		50	50					100			0	0
	tii	1,05				13	0,58			1,2	0,68					1,6			0,12	0,24
D19	tpz		100					40		50	50								0	0
	tii		2,6					0,43		2,4	2,1								0,26	0,15
D20	tpz		100					40		50	50								0	0
	tii		5					0,8		2,5	2,8								0,2	1,1
D21	tpz		100					40		50	50								0	0
	tii		5,8					0,48		2,15	2,6								0,19	1,09
D22	tpz					100		40		50	50								0	0
	tii					7	0,56			2,8	3								0,35	0,26
D23	tpz				100			40				50	50						0	0
	tii				4,9			0,52				3,5	4						0,36	1,4
D24	tpz					100		40		50				50					0	0
	tii					8	0,66			3,6				0,5					0,4	2,5
D25	tpz				100			40						50	50				0	0
	tii				6,3			0,92						6	6,6				0,5	3,2
D26	tpz		100					40		50	50								0	0
	tii		2,6					0,48		1,66	2,1								0,15	0,18
D27	tpz		50		150			60		50	50									0
	tii		6,5		4,7			0,37		0,9	0,7									0,06
D28	tpz				150			60		50	50								0	0
	tii				2,6			0,44		1,3	0,9								0,31	1,14
D29	tpz		50	100				40		50	50					100		50		
	tii		1,1	4				0,25		2	0,75					3		0,6		0,19
D30	tpz		50	100				60		50	50									0
	tii		1,05	3,7				0,45		1	1,7									0,15
D31	tpz		50		100			40		50						100			0	0
	tii		0,85		9,5			0,23		0,96						1,3			0,13	0,2

Matrica rastojanja u metrima između tehnoloških sistema (sa oznakom *a*) je data u tabeli 25. Rastojanje između tehnoloških sistema (sa oznakama *b, c, d...*) istog tipa je 3 metra.

Tabela 25. Pregled rastojanja između tehnoloških sistema [metar]

	m0a	m1a	m2a	m3a	m4a	m5a	m6a	m7a	m8a	m9a	m10a	m11a	m12a	m13a
m0a	0	70	73	85	88	65	68	30	33	36	91	15	30	36
m1a		0	3	16	19	42	45	39	42	45	22	70	75	93
m2a			0	19	22	45	48	42	45	48	25	73	78	96
m3a				0	3	57	60	55	58	61	6	87	90	110
m4a					0	60	63	58	61	64	3	90	93	113
m5a						0	3	15	18	21	63	30	33	52
m6a							0	18	21	24	66	33	36	55
m7a								0	3	6	61	34	42	58
m8a									0	3	64	37	45	61
m9a										0	67	40	48	64
m10a											0	93	96	116
m11a												0	15	25
m12a													0	20
m13a														0

2.1. Prijem porudžbina i kreiranje grupa predmeta rada

Kreirana je porudžbina za proizvode i pojedinačne predmeta rada (delove). Kada se količine iz porudžbine za proizvodima prevedu u količine predmeta rada (delova) dobijaju se količine koje su date u tabeli 26.

Tabela 26. Porudžbina za predmete rada u komadima

D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
150	250	200	150	100	150	50	50	500	300	500	200	500	300	200	250
D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	
400	100	250	500	500	500	150	100	100	300	200	75	100	100	150	

Na osnovu matrice učestalosti iz tabele 23 moguće je kreirati koeficijente sličnosti za delove proizvoda.

Koeficijenti sličnosti delova su izračunati prema istom obrascu kao i u prethodnom primeru i dati su u tabeli 27, a kreirane grupe predmeta rada su prikazane u tabeli 28.

Tabela 27. Koeficijenti sličnost između predmeta rada

	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31
D01																															
D02	0,7																														
D03	1	0,7																													
D04	0,5	0,3	0,5																												
D05	0,7	0,5	0,7	0,3																											
D06	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5																										
D07	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,7																									
D08	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,7	1																								
D09	0,6	0,9	0,6	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2																							
D10	0,7	0,5	0,7	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,6																						
D11	0,7	0,5	0,7	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,6	1																					
D12	0,8	0,6	0,8	0,4	0,6	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6	0,6																				
D13	0,8	0,6	0,8	0,4	0,6	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6	0,6	1																			
D14	0,6	0,4	0,6	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6																		
D15	0,6	0,4	0,6	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	1																	
D16	0,6	0,4	0,6	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8																
D17	0,6	0,4	0,6	0,3	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	1	1	0,8															
D18	0,6	0,4	0,6	0,3	0,6	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6														
D19	0,7	1	0,7	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,9	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4													
D20	1	0,7	1	0,5	0,7	0,3	0,3	0,3	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7												
D21	0,7	1	0,7	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,9	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	1	0,7											
D22	0,7	0,5	0,7	0,3	0,7	0,3	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,5	0,7	0,5										
D23	0,3	0,2	0,3	0,7	0,5	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3									
D24	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,5	0,3	0,7	0,3								
D25	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5	1	0,7	0,7	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,5	0,5							
D26	0,7	1	0,7	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,9	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	1	0,7	1	0,5	0,2	0,3	0,2						
D27	0,5	0,7	0,5	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,7	0,5	0,7	0,3	0,1	0,2	0,1	0,7					
D28	0,5	0,7	0,5	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2	0,6	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,7	0,5	0,7	0,5	0,2	0,3	0,2	0,7	0,7				
D29	0,4	0,6	0,4	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,6	0,4	0,6	0,3	0,1	0,2	0,1	0,6	0,6	0,4			
D30	0,7	0,5	0,7	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	0,6	1	1	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,5	0,5	0,2	0,3	0,2	0,5	0,5	0,3	0,6		
D31	0,4	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,6	0,3	0,3	0,7	0,7	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4	0,6	0,3	0,2	0,3	0,2	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	

Tabela 28. Identifikovane grupe predmeta rada

	D06	D07	D08	D24	D25	D04	D05	D23	D01	D03	D10	D11	D20	D30	D02	D09	D19	D26	D21	D27	D28	D29	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D22	D31	
D06						0,33	0,5		0,33	0,33					0,2																	
D07	0,71					0,33	0,33		0,33	0,33					0,2																	
D08	0,71	1				0,33	0,33		0,33	0,33					0,2																	
D24	0,5	0,71	0,71			0,33	0,5	0,33	0,5	0,5	0,33	0,33	0,5		0,33	0,3	0,33		0,33				0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,56	0,71		
D25	1	0,71	0,71	0,5		0,33	0,5	0,5	0,33	0,33	0,2	0,2	0,33		0,2	0,18	0,2		0,2				0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,33	
D04									0,5	0,5					0,33																	
D05						0,33			0,71	0,71					0,5																	
D23	0,5	0,33	0,33			0,71	0,5		0,33	0,33	0,2	0,2	0,33		0,2	0,18	0,2		0,2				0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,33	
D01																																
D03									1						0,71																	
D10	0,2	0,2	0,2			0,33	0,5		0,71	0,71					0,5	0,63																
D11	0,2	0,2	0,2			0,33	0,5		0,71	0,71	1				0,5	0,63																
D20	0,33	0,33	0,33			0,5	0,71		1	1	0,71	0,71			0,71	0,63	0,71						0,75	0,75	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56		
D30	0,2	0,2	0,2	0,33	0,2	0,33	0,5	0,2	0,71	0,71	1	1	0,71		0,5	0,63	0,5	0,5	0,5	0,5	0,33	0,56	0,56	0,56	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5		
D02									0,71																							
D09	0,18	0,18	0,18			0,3	0,44		0,63	0,63					0,86																	
D19	0,2	0,2	0,2			0,33	0,5		0,71	0,71	0,5	0,5			1	0,86							0,56	0,56	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		
D26	0,2	0,2	0,2	0,33	0,2	0,33	0,5	0,2	0,71	0,71	0,5	0,5	0,71		1	0,86	1		1				0,56	0,56	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5		
D21	0,2	0,2	0,2			0,33	0,5		0,71	0,71	0,5	0,5	0,71		1	0,86	1						0,56	0,56	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		
D27	0,09	0,09	0,09	0,2	0,09	0,2	0,33	0,09	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,71	0,63	0,71	0,71	0,71				0,56	0,56	0,4	0,4	0,4	0,4	0,27	0,33		
D28	0,2	0,2	0,2	0,33	0,2	0,2	0,5	0,2	0,5	0,5	0,33	0,33	0,5		0,71	0,63	0,71	0,71	0,71	0,71			0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,4	0,5		
D29	0,08	0,08	0,08	0,17	0,08	0,17	0,27	0,08	0,4	0,4	0,56	0,56	0,4		0,56	0,67	0,56	0,56	0,56	0,56	0,4		0,45	0,45	0,23	0,23	0,33	0,23	0,33	0,27		
D12	0,27	0,27	0,27			0,4	0,56		0,75	0,75	0,56	0,56			0,56	0,5																
D13	0,27	0,27	0,27			0,4	0,56		0,75	0,75	0,56	0,56			0,56	0,5							1									
D14	0,27	0,27	0,27			0,27	0,56		0,56	0,56	0,4	0,4			0,4	0,36							0,6	0,6								
D15	0,27	0,27	0,27			0,27	0,56		0,56	0,56	0,4	0,4			0,4	0,36							0,6	0,6	1							
D16	0,27	0,27	0,27			0,27	0,56		0,56	0,56	0,4	0,4			0,4	0,36							0,78	0,78	0,78	0,78						
D17	0,27	0,27	0,27			0,27	0,56		0,56	0,56	0,4	0,4			0,4	0,36							0,6	0,6	1	1	0,78					
D18	0,27	0,4	0,4			0,27	0,56		0,56	0,56	0,4	0,4			0,4	0,36							0,6	0,6	0,6	0,6	0,78	0,6				
D22	0,33	0,5	0,5			0,33	0,71		0,71	0,71	0,5	0,5	0,71		0,5	0,44	0,5		0,5				0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,75			
D31	0,18	0,18	0,18	0,3	0,18	0,3	0,3	0,18	0,44	0,44	0,3	0,3	0,44	0,3	0,63	0,56	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,5	0,67	0,67	0,36	0,36	0,5	0,36	0,36	0,3		

2.2. Kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija, postavljanje parametara sistema upravljanja periodičnim serijama i izrada terminskih planova

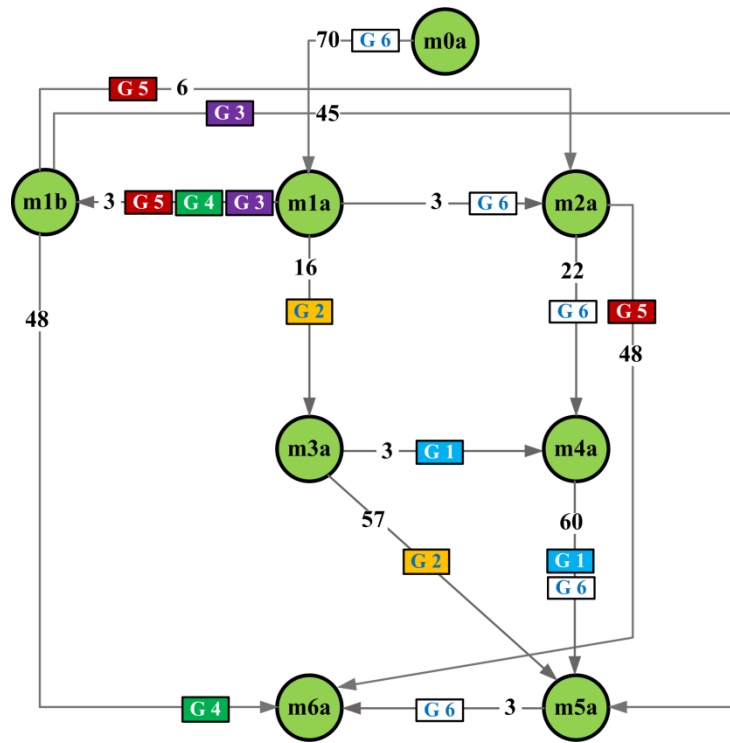
Za početnu dužinu perioda P uzeto je vreme 9600 minuta koje odgovara šesnaestočasovnom radnom vremenu (u dve radne smene) u toku deset radnih dana. Proizvodnja se odvija prema tehnološkom postupku u okviru dve faze obrade, te je stoga $N=2$. Količine predmeta rada iz tabele 26 se usvajaju kao količine operativnog plana.

Grupisanje tehnoloških sistema se vrši na osnovu grupa delova odnosno predmeta rada, tehnoloških postupaka obrade, raspoloživih kapaciteta tehnoloških sistema, kriterijuma postavljenih za period P i principa minimalnih rastojanja.

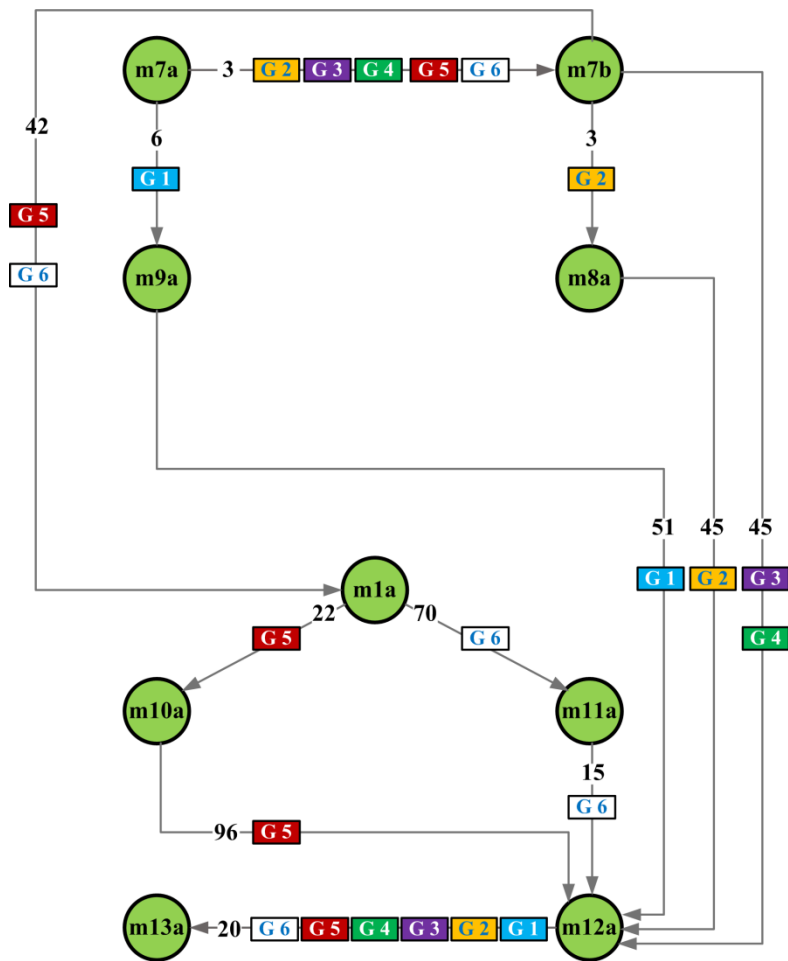
Na slikama 37 i 38 su prikazani grafovi početnih konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija za faze obrade 1 i 2 respektivno. Čvorovi svakog grafa predstavljaju tehnološke sisteme koji su povezani granama, a težina grane odgovara rastojanju između tehnoloških sistema. Na svakom grafu su prikazane i grupe predmeta rada kao dodatni atributi odgovarajućih grana grafa. Programski kod za određivanje virtuelnih proizvodnih ćelija putem Dijkstra algoritma je dat u prilogu P1. Početna konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija je data u tabeli 29.

Tabela 29. Početna konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija u proizvodnom sistemu

Virtuelna proizvodna ćelija	Faza obrade	Tehnološki sistemi
1	1	m3a, m4a, m5a
2	1	m1a, m3a, m5a
3	1	m1a, m1b, m5a
4	1	m1a, m1b, m6a
5	1	m1a, m1b, m2a, m6a
6	1	m0a, m1a, m2a, m4a, m5a, m6a
7	2	m7a, m9a, m12a, m13a
8	2	m7a, m7b, m8a, m12a, m13a
9	2	m7a, m7b, m12a, m13a
10	2	m7a, m7b, m12a, m13a
11	2	m7a, m7b, m1a, m11a, m12a, m13a
12	2	m7a, m7b, m1a, m10a, m12a, m13a



Slika 37. Graf virtuelnih proizvodnih ćelija za fazu obrade 1



Slika 38. Graf virtuelnih proizvodnih ćelija za fazu obrade 2

Grupe predmeta rada koje odgovaraju virtuelnim proizvodnim ćelijama su date u tabeli 30.

Tabela 30. Grupe predmeta rada i virtuelne proizvodne ćelije

Virtuelna proizvodna ćelija	Faza obrade	Grupa predmeta rada
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	1	4
5	1	5
6	1	6
7	2	1
8	2	2
9	2	3
10	2	4
11	2	5
12	2	6

Provera uslova za period P započinje proračunom opterećenje-efektivni kapacitet. U tabeli 31 je prikazano opterećenje po tehnološkim sistemima za delove i njihove grupe u toku prve faze obrade, a u tabeli 32 opterećenje po tehnološkim sistemima za delove i njihove grupe u toku druge faze obrade. Efektivni kapacitet svakog tehnološkog sistema iznosi 7020 minuta.

Tabela 31. Opterećenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1 [minut]

Tehnološki sistemi			m0a	m1a	m1b	m2a	m3a	m4a	m5a	m6a
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 1							
D06	150	tpz					100		40	
		tii					8,4		1,26	
D07	50	tpz						100	40	
		tii						12,5	1,58	
D08	50	tpz						100	40	
		tii						12,5	1,58	
D24	100	tpz						100	40	
		tii						8	0,66	
D25	100	tpz					100		40	
		tii					6,3		0,92	
Uk. opter. po grupi [minut]			0,00	0,00	0,00	0,00	2090,00	2350,00	705,00	0,00
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 2							
D04	150	tpz		100					40	
		tii		6,2					0,79	
D05	100	tpz					100		40	
		tii					6,5		0,79	
D23	150	tpz					100		40	
		tii					4,9		0,52	
Uk. opter. po grupi [minut]			0,00	1030,00	0,00	0,00	1585,00	0,00	395,50	0,00
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 3							
D01	150	tpz		100						
		tii		3,75						
D03	200	tpz		100					40	
		tii		4,8					0,68	

D10	300	tpz		50	100				40	
		tii		1,05	3				0,44	
D11	500	tpz		50	100				40	
		tii		1,05	3				0,44	
D20	500	tpz		100					40	
		tii		5					0,8	
D30	100	tpz		50	100				60	
		tii		1,05	3,7				0,45	
Uk. opter. po grupi[minut]			0,00	5417,50	3070,00	0,00	0,00	0,00	1153,00	0,00
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 4							
D02	250	tpz		100						40
		tii		4,8						0,61
D09	500	tpz		50	100					40
		tii		0,9	2,8					0,4
D19	250	tpz		100						40
		tii		2,6						0,43
D26	300	tpz		100						40
		tii		2,6						0,48
Uk. opter. po grupi[minut]			0,00	3430,00	1500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	764,00
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 5							
D21	500	tpz		100						40
		tii		5,8						0,48
D27	200	tpz		50		150				60
		tii		6,5		4,7				0,37
D28	75	tpz				150				60
		tii				2,6				0,44
D29	100	tpz		50	100					40
		tii		1,1	4					0,25
Uk. opter. po grupi[minut]			0,00	4510,00	500,00	1435,00	0,00	0,00	0,00	572,00
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 6							
D12	200	tpz		50		100				60
		tii		1,05		8,3				0,5
D13	500	tpz		50		100				60
		tii		0,77		7				0,4
D14	300	tpz	25,00			100				60
		tii	1,03			8,5				0,52
D15	200	tpz	25,00			100				60
		tii	9,20			9,2				0,52
D16	250	tpz	25,00			100				60
		tii	1,05			10				0,6
D17	400	tpz	25			100				60
		tii	1,05			9,5				0,6
D18	100	tpz	25					100		60
		tii	1,05					13		0,58
D22	500	tpz						100		40
		tii						7		0,56
D31	150	tpz		50		100				40
		tii		0,85		9,5				0,23
Uk. opter. po grupi[minut]			3061,50	872,50	0,00	17975,0	0,00	5000,00	1748,00	74,50

Tabela 32. Opterećenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2 [minut]

Tehnološki sistemi			m7a	m7b	m8a	m8a	m9a	m9a	m1a	m10a	m11a	m12a	m13a
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 1										
D06	150	tpz					50	50				0	0
		tii					4,8	7,5				0,6	2,97
D07	50	tpz					50	50				0	0
		tii					8,4	10,5				0,83	2,29
D08	50	tpz					50	50				0	0
		tii					8,4	9,9				1	3,95
D24	100	tpz	50					50				0	0
		tii	3,6					0,5				0,4	2,5
D25	100	tpz					50	50				0	0
		tii					6	6,6				0,5	3,2
Uk. opter. po grupi[minut]			410,00	0,00	0,00	0,00	2360,00	3105,00	0,00	0,00	0,00	271,50	1327
Pred.rada	Količina[komad]	t	Grupa 2										
D04	150	tpz			50	50						0	0
		tii			6	5,1						0,45	2,16
D05	100	tpz	50	50								0	0
		tii	4	4,5								0,5	2,04
D23	150	tpz			50	50						0	0
		tii			3,5	4						0,36	1,4
Uk. opter. po grupi[minut]			450,00	500,00	1525,00	1465,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	171,50	738
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 3										
D01	150	tpz	40	50								0	0
		tii	0,54	2,85								0,35	0,25
D03	200	tpz	50	50								0	0
		tii	3	4,2								0,45	1,55
D10	300	tpz	50	50									0
		tii	1,1	2									0,25
D11	500	tpz	50	50									0
		tii	1,1	1,8									0,25
D20	500	tpz	50	50								0	0
		tii	2,5	2,8								0,2	1,1
D30	100	tpz	50	50									0
		tii	1	1,7									0,15
Uk. opter. po grupi[minut]			3201,00	4637,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	242,50	1113
Pred.rada	Količina[komad]	t	Grupa 4										
D02	250	tpz	50	50								0	
		tii	4,2	3,45								0,4	1,13
D09	500	tpz	50	50								0	0
		tii	1	1,2								0,1	1
D19	250	tpz	50	50								0	0
		tii	2,4	2,1								0,26	0,15
D26	300	tpz	50	50								0	0
		tii	1,66	2,1								0,15	0,18
Uk. opter. po grupi[minut]			2848,00	2817,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	260,00	874
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 5										
D21	500	tpz	50	50								0	0
		tii	2,15	2,6								0,19	1,09

D27	200	tpz	50	50									0	
		tii	0,9	0,7										0,06
D28	75	tpz	50	50									0	0
		tii	1,3	0,9									0,31	1,14
D29	100	tpz	50	50					100		50			
		tii	2	0,75					3		0,6			0,19
Uk. opter. po grupi[minut]			1752,50	1782,50	0,00	0,00	0,00	0,00	400,00	0,00	110,00	118,25	662	
Pred.rada	Količina[komad]	t[minut]	Grupa 6											
D12	200	tpz	50	50					100				0	0
		tii	0,96	0,75					1,4				0,12	0,16
D13	500	tpz	50	50					100				0	0
		tii	0,95	0,75					1,2				0,1	0,11
D14	300	tpz	50	50					100				0	0
		tii	1,12	0,9					1,4				0,14	0,21
D15	200	tpz	50	50						100			0	0
		tii	1,05	0,9						1,6			0,16	0,3
D16	250	tpz	50	50					100				0	0
		tii	1,3	1,2					1,6				0,11	0,31
D17	400	tpz	50	50						100			0	0
		tii	1,3	1						1,6			0,17	0,29
D18	100	tpz	50	50					100				0	0
		tii	1,2	0,68					1,6				0,12	0,24
D22	500	tpz	50	50									0	0
		tii	2,8	3									0,35	0,26
D31	150	tpz	50						100				0	0
		tii	0,96						1,3				0,13	0,2
Uk. opter. po grupi[minut]			4172,00	3643,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2655,00	1160,00	0,00	450,00	588	

U tabelama 33 i 34 su prikazana ukupna opterećenja za tehnološke sisteme po grupama predmeta rada.

Tabela 33. Ukupno opterećenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1

Oznaka tehnološkog sistema	Ukupno opterećenje tehnološkog sistema
m0a	3062
m1a	15260
m1b	5070
m2a	19410
m3a	3675
m4a	7350
m5a	4002
m6a	1411

Tabela 34. Ukupno opterećenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2

Oznaka tehnološkog sistema	Ukupno opterećenje tehnološkog sistema
m1a	3055
m7a	12834
m7b	13381
m8a	2290
m9a	5465
m10a	1160
m11a	110
m12a	1514
m13a	5302

U tabeli 33 preopterećenje se uočava na tehnološkim sistemima m1a, m2a i m4a. U tabeli 34 preopterećenje se uočava na tehnološkim sistemima m7a i m7b. Uključivanjem dodatnih tehnoloških sistema u postojeće virtuelne proizvodne ćelije se smanjuje preopterećenje. Uključuju se dodatni tehnološki sistemi m1c, m1d, m1f, m2b, m2c, m2d, m2e i m4b u prvoj fazi obrade i tehnološki sistemi m1b, m7c, m7d, m7e i m7f u drugoj fazi obrade. U virtuelnoj proizvodnoj ćeliji broj 6 tehnološki sistem m1a je zamenjen sa dva tehnološka sistema m1e i m1f. U tabeli 35 je prikazana struktura odnosno konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija sa uključenim dodatnim tehnološkim sistemima.

Tabela 35. Konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija

Virtuelna proizvodna ćelija	Faza obrade	Tehnološki sistemi
1	1	m3a, m4a, m4b, m5a
2	1	m1a, m1b, m1c, m1d, m3a, m5a
3	1	m1a, m1b, m1c, m1d, m1e, m1f, m5a
4	1	m1a, m1b, m1c, m1d, m1e, m1f, m6a
5	1	m1a, m1b, m1c, m1d, m1e, m1f, m2a, m2b, m2c, m2d, m2e, m6a
6	1	m0a, m1e, m1f, m2a, m2b, m2c, m2d, m2e, m4a, m4b, m5a, m6a
7	2	m7a, m7b, m7c, m9a, m12a, m13a
8	2	m7a, m7b, m7c, m7d, m7e, m7f, m8a, m12a, m13a
9	2	m7a, m7b, m7c, m7d, m7e, m7f, m12a, m13a
10	2	m7a, m7b, m7c, m7d, m7e, m7f, m12a, m13a
11	2	m7a, m7b, m7c, m7d, m7e, m7f, m1a, m1b, m11a, m12a, m13a
12	2	m7a, m7b, m7c, m7d, m7e, m7f, m1a, m1b, m10a, m12a, m13a

Dalja provera uslova za period P se odnosi na vreme trajanja ciklusa proizvodnje za grupe predmeta rada. Terminiranjem grupa predmeta rada na virtuelne proizvodne ćelije se proverava da li se zahtevi za proizvodnjom predmeta rada mogu ispuniti u okviru zadatog vremenskog perioda. U terminskim planovima se može primetiti da je operacija rada na tehnološkom sistemu m1b za grupe predmeta rada 3, 4 i 5 u prvoj fazi obrade premeštena na tehnološke sisteme m1e i m1f kako bi se zadovoljili uslovi postavljeni za period P (iako je prethodno utvrđeno da ne postoji preopterećenje tog tehnološkog sistema u prvoj fazi obrade). Takođe je druga operacija u prvoj fazi obrade grupe 6 premeštena na tehnološke sisteme m1e i m1f iz istih razloga. U tabelama 36 i 37 su prikazani terminski planovi za redni način prelaska grupa predmeta rada sa operacije na operaciju za fazu obrade 1 i fazu obrade 2 respektivno. Gant dijagrami za redni postupak prelaska su prikazani na slikama

39 i 40. Proizvodnja svih grupa predmeta rada se završava u određenoj fazi obrade u okviru postavljenog perioda.

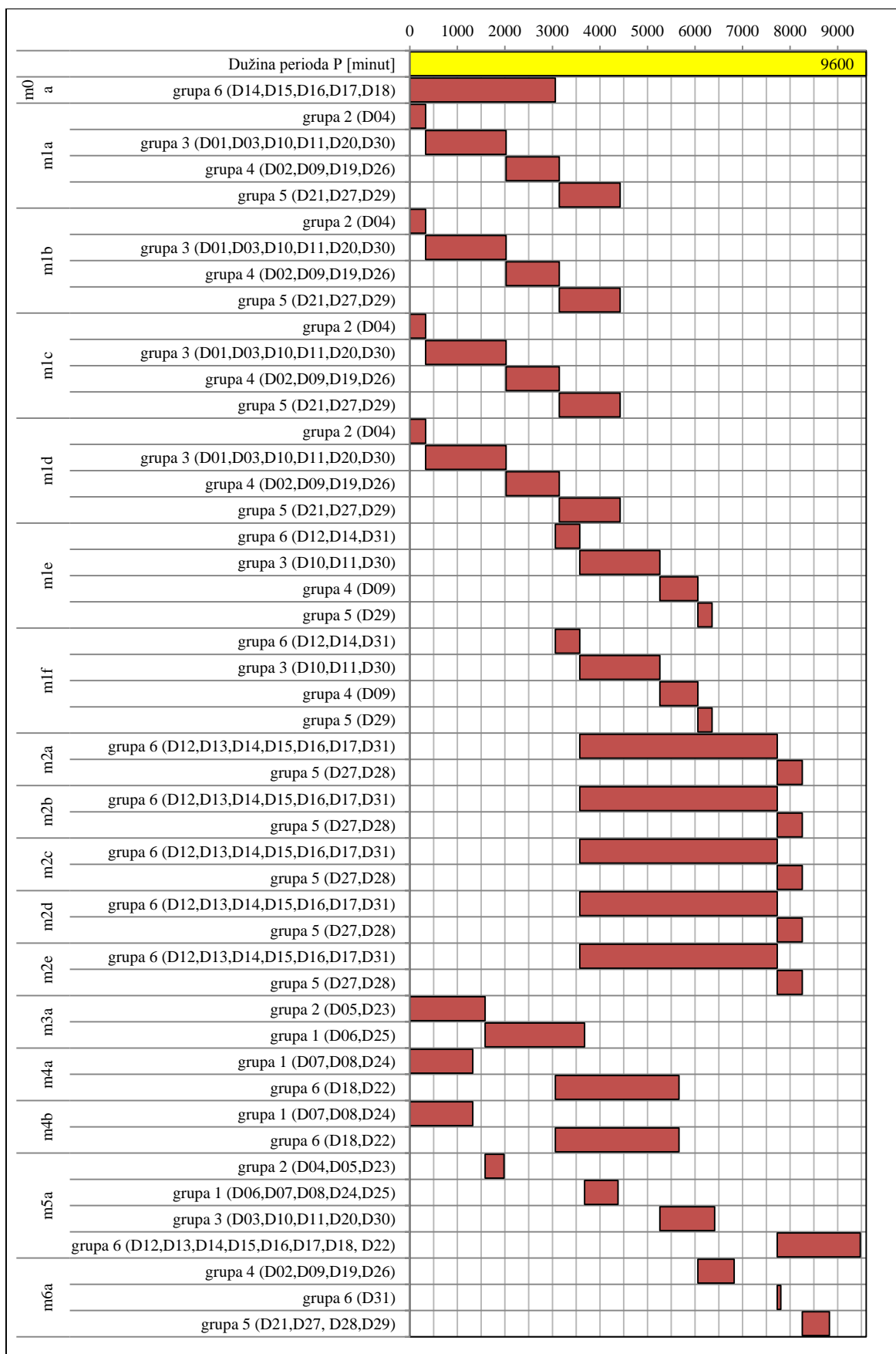
Promena postupka prelaska grupa predmeta rada sa rednog na paralelni i kombinovani je u fazi obrade 1 izvršena za grupu predmeta rada 6 u dve partije. U fazi obrade 2 je izvršena promena postupka prelaska grupa predmeta rada sa rednog na paralelni i kombinovani postupak za grupe predmeta rada 3, 4, 5 i 6 u dve partije. Terminski plan za paralelni postupak prelaska grupe 6 i redni postupak ostalih grupa predmeta rada za fazu obrade 1 i terminski plan za paralelni postupak prelaska grupa 3, 4, 5, i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa za fazu obrade 2 su dati u tabelama 38 i 39 respektivno. Gant dijagrami su dati na slikama 41, 42 i 43. Terminski plan za kombinovani postupak prelaska grupe 6 i redni postupak ostalih grupa predmeta rada za fazu obrade 1 i terminski plan za kombinovani postupak prelaska grupa 3, 4, 5, i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa za fazu obrade 2 su dati u tabelama 40 i 41 respektivno. Gant dijagrami su dati na slikama 44, 45 i 46.

Optimizacija faktora poput veličine partije predmeta rada iz grupe predmeta rada, smanjenja nedovršene proizvodnje predmeta rada i količine kretanja materijala između radnih mesta nije uzimana u razmatranje iz razloga što to nije predmet istraživanja doktorske disertacije.

Tabela 36. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 1 (redni postupak prelaska grupa predmeta rada)

Tehnološki sistem	Grupa predmeta rada	Ukupno vreme obrade [minut]	Početak obrade [minut]	Završetak obrade [minut]	Trajanje planskog perioda P [minut]
m0a	grupa 6 (D14,D15,D16,D17,D18)	3062	0	3062	9600
m1a	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1b	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1c	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1d	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600

	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1e	grupa 6 (D12,D14,D31)	512	3062	3574	9600
	grupa 3 (D10,D11,D30)	1685	3574	5259	9600
	grupa 4 (D09)	800	5259	6059	9600
	grupa 5 (D29)	300	6059	6359	9600
m1f	grupa 6 (D12,D14,D31)	512	3062	3574	9600
	grupa 3 (D10,D11,D30)	1685	3574	5259	9600
	grupa 4 (D09)	800	5259	6059	9600
	grupa 5 (D29)	300	6059	6359	9600
m2a	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31)	4155	3574	7729	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7729	8256	9600
m2b	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31)	4155	3574	7729	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7729	8256	9600
m2c	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31)	4155	3574	7729	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7729	8256	9600
m2d	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31)	4155	3574	7729	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7729	8256	9600
m2e	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31)	4155	3574	7729	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7729	8256	9600
m3a	grupa 2 (D05,D23)	1585	0	1585	9600
	grupa 1 (D06,D25)	2090	1585	3675	9600
m4a	grupa 1 (D07,D08,D24)	1325	0	1325	9600
	grupa 6 (D18,D22)	2600	3062	5662	9600
m4b	grupa 1 (D07,D08,D24)	1325	0	1325	9600
	grupa 6 (D18,D22)	2600	3062	5662	9600
m5a	grupa 2 (D04,D05,D23)	396	1585	1981	9600
	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	705	3675	4380	9600
	grupa 3 (D03,D10,D11,D20,D30)	1153	5259	6412	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18, D22)	1748	7729	9477	9600
m6a	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	764	6059	6823	9600
	grupa 6 (D31)	75	7729	7804	9600
	grupa 5 (D21,D27, D28,D29)	572	8256	8828	9600

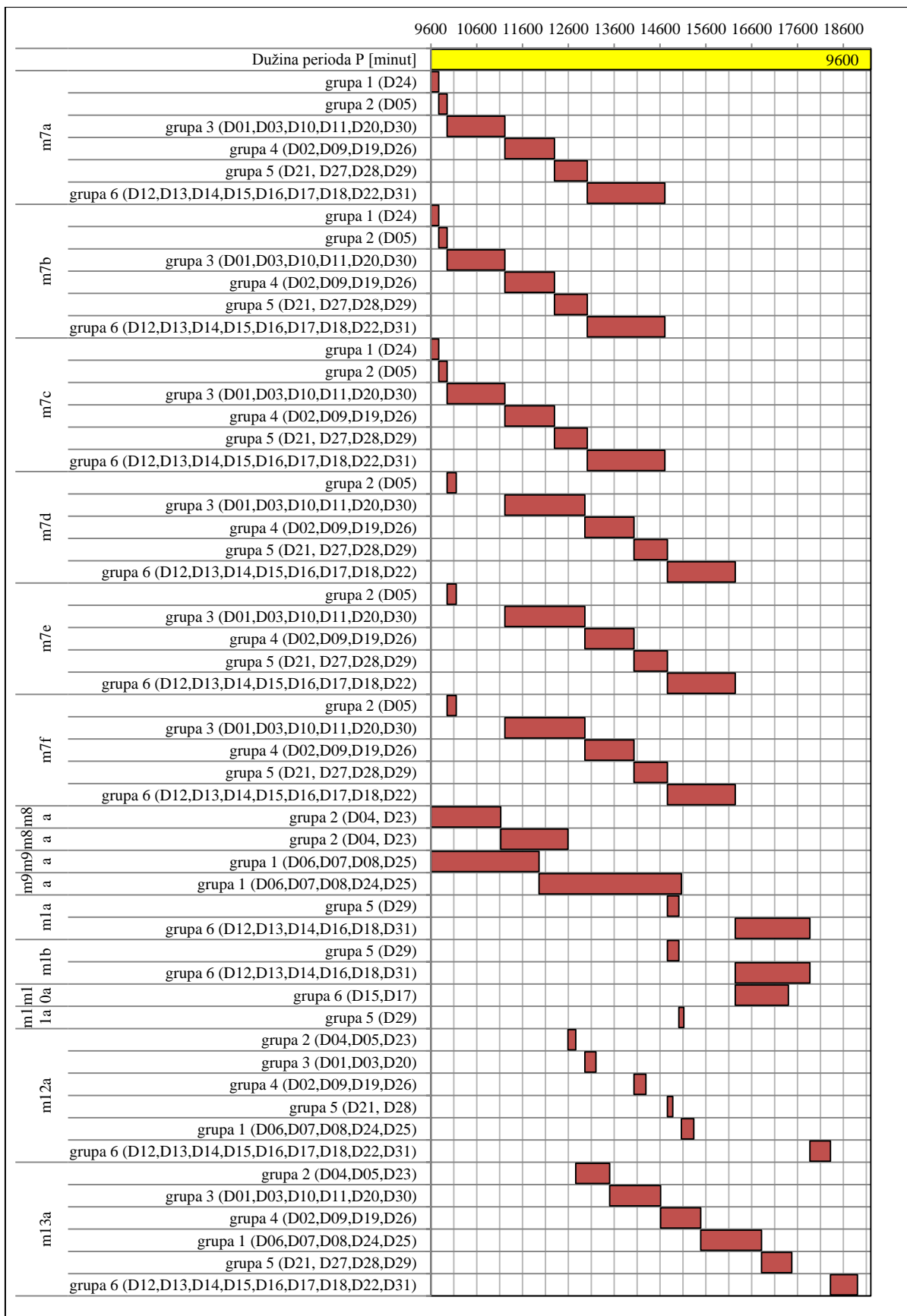


Slika 39. Gant dijagram – faza obrade 1 (redni postupak prelaska grupa predmeta rada)

Tabela 37. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 2 (redni postupak prelaska grupa predmeta rada)

Tehnološki sistem	Grupa predmeta rada	Ukupno vreme obrade [minut]	Početak obrade [minut]	Završetak obrade [minut]	Trajanje planskog perioda P [minut]
m7a	grupa 1 (D24)	170	9600	9770	9600
	grupa 2 (D05)	183	9770	9953	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1260	9953	11213	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1083	11213	12296	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29)	718	12296	13014	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31)	1691	13014	14705	9600
m7b	grupa 1 (D24)	170	9600	9770	9600
	grupa 2 (D05)	183	9770	9953	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1260	9953	11213	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1083	11213	12296	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29)	718	12296	13014	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31)	1691	13014	14705	9600
m7c	grupa 1 (D24)	170	9600	9770	9600
	grupa 2 (D05)	183	9770	9953	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1260	9953	11213	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1083	11213	12296	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29)	718	12296	13014	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31)	1691	13014	14705	9600
m7d	grupa 2 (D05)	200	9953	10153	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1746	11213	12959	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1073	12959	14032	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29)	728	14032	14760	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22)	1481	14760	16241	9600
m7e	grupa 2 (D05)	200	9953	10153	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1746	11213	12959	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1073	12959	14032	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29)	728	14032	14760	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22)	1481	14760	16241	9600
m7f	grupa 2 (D05)	200	9953	10153	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1746	11213	12959	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1073	12959	14032	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29)	728	14032	14760	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22)	1481	14760	16241	9600
m8a	grupa 2 (D04, D23)	1525	9600	11125	9600
m8a	grupa 2 (D04, D23)	1465	11125	12590	9600
m9a	grupa 1 (D06,D07,D08,D25)	2360	9600	11960	9600

m9a	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	3105	11960	15065	9600
m1a	grupa 5 (D29)	250	14760	15010	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31)	1628	16241	17869	9600
m1b	grupa 5 (D29)	250	14760	15010	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31)	1628	16241	17869	9600
m10a	grupa 6 (D15,D17)	1160	16241	17401	9600
m11a	grupa 5 (D29)	110	15010	15120	9600
m12a	grupa 2 (D04,D05,D23)	172	12590	12762	9600
	grupa 3 (D01,D03,D20)	243	12959	13202	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	260	14032	14292	9600
	grupa 5 (D21, D28)	118	14760	14878	9600
	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	272	15065	15337	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31)	450	17869	18319	9600
m13a	grupa 2 (D04,D05,D23)	738	12762	13500	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1113	13500	14613	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	874	14613	15487	9600
	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	1327	15487	16814	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29)	662	16814	17476	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31)	588	18319	18907	9600

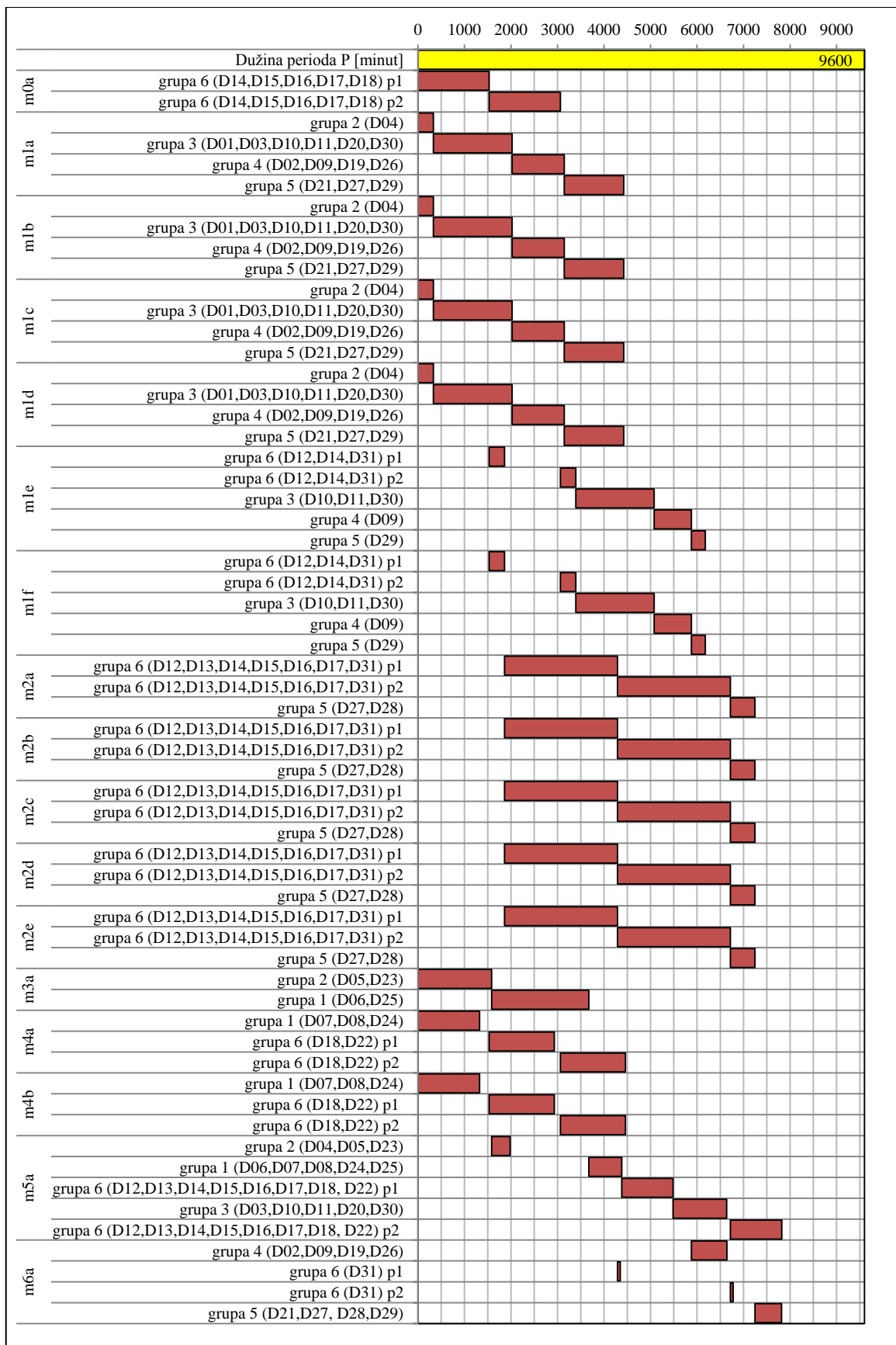


Slika 40. Gant dijagram – faza obrade 2 (redni postupak prelaska grupa predmeta rada)

**Tabela 38. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 1 (paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada
6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada)**

Tehnološki sistem	Grupa	Ukupno vreme obrade [minut]	Početak obrade [minut]	Završetak obrade [minut]	Trajanje planskog perioda P [minut]
m0a	grupa 6 (D14,D15,D16,D17,D18) p1	1531	0	1531	9600
	grupa 6 (D14,D15,D16,D17,D18) p2	1531	1531	3062	9600
m1a	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1b	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1c	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1d	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1e	grupa 6 (D12,D14,D31) p1	331	1531	1862	9600
	grupa 6 (D12,D14,D31) p2	331	3062	3393	9600
	grupa 3 (D10,D11,D30)	1685	3393	5078	9600
	grupa 4 (D09)	800	5078	5878	9600
	grupa 5 (D29)	300	5878	6178	9600
m1f	grupa 6 (D12,D14,D31) p1	331	1531	1862	9600
	grupa 6 (D12,D14,D31) p2	331	3062	3393	9600
	grupa 3 (D10,D11,D30)	1685	3393	5078	9600
	grupa 4 (D09)	800	5078	5878	9600
	grupa 5 (D29)	300	5878	6178	9600
m2a	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	1862	4290	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	4290	6718	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	6718	7245	9600
m2b	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	1862	4290	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	4290	6718	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	6718	7245	9600
m2c	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	1862	4290	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	4290	6718	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	6718	7245	9600

m2d	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	1862	4290	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	4290	6718	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	6718	7245	9600
m2e	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	1862	4290	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	4290	6718	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	6718	7245	9600
m3a	grupa 2 (D05,D23)	1585	0	1585	9600
	grupa 1 (D06,D25)	2090	1585	3675	9600
m4a	grupa 1 (D07,D08,D24)	1325	0	1325	9600
	grupa 6 (D18,D22) p1	1400	1531	2931	9600
	grupa 6 (D18,D22) p2	1400	3062	4462	9600
m4b	grupa 1 (D07,D08,D24)	1325	0	1325	9600
	grupa 6 (D18,D22) p1	1400	1531	2931	9600
	grupa 6 (D18,D22) p2	1400	3062	4462	9600
m5a	grupa 2 (D04,D05,D23)	396	1585	1981	9600
	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	705	3675	4380	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18, D22) p1	1104	4380	5484	9600
	grupa 3 (D03,D10,D11,D20,D30)	1153	5484	6637	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18, D22) p2	1104	6718	7822	9600
m6a	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	764	5878	6642	9600
	grupa 6 (D31) p1	58	4290	4348	9600
	grupa 6 (D31) p2	58	6718	6776	9600
	grupa 5 (D21,D27, D28,D29)	572	7245	7817	9600



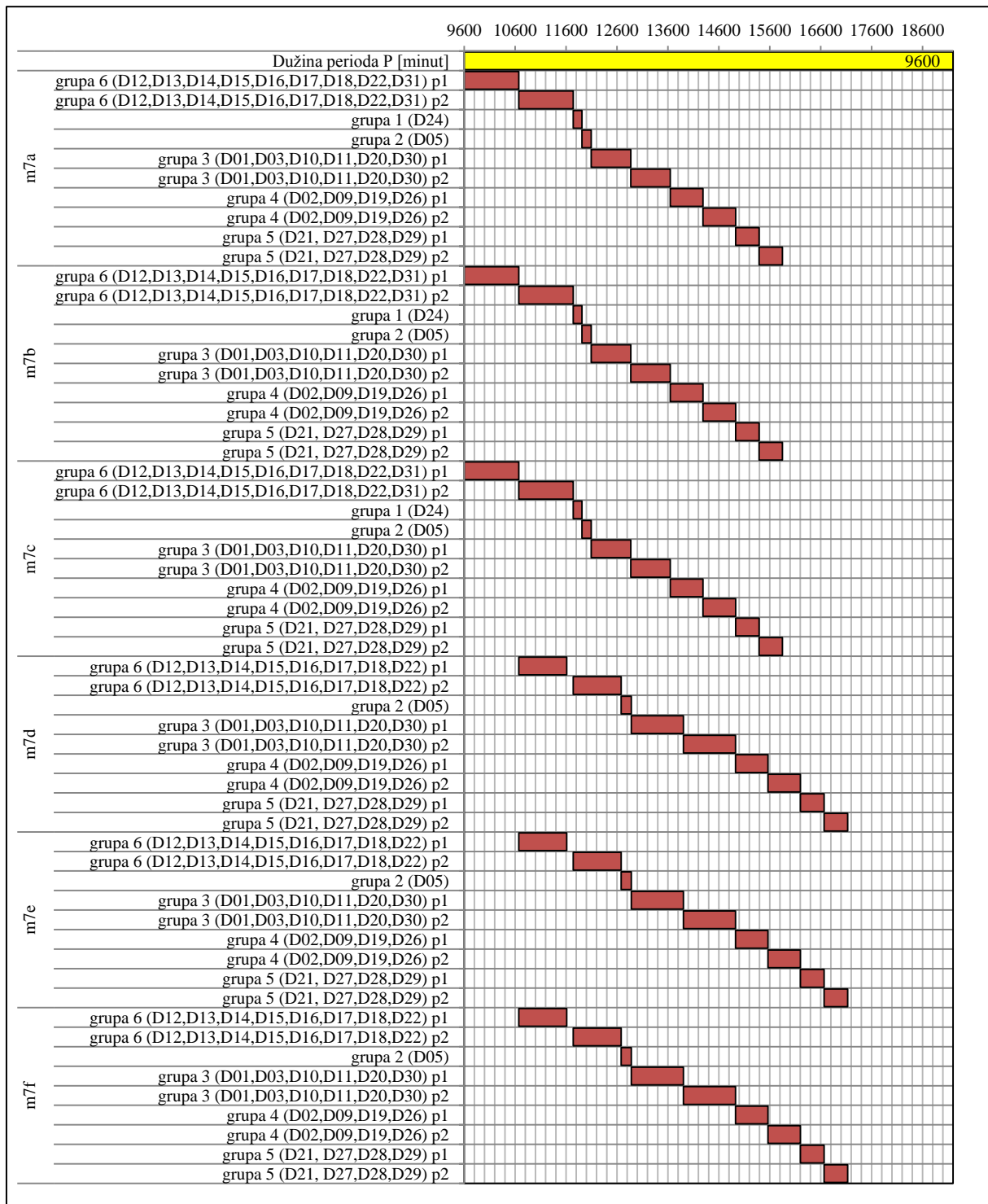
Slika 41. Gant dijagram – faza obrade 1 (paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada)

Tabela 39. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 2 (paralelni postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada)

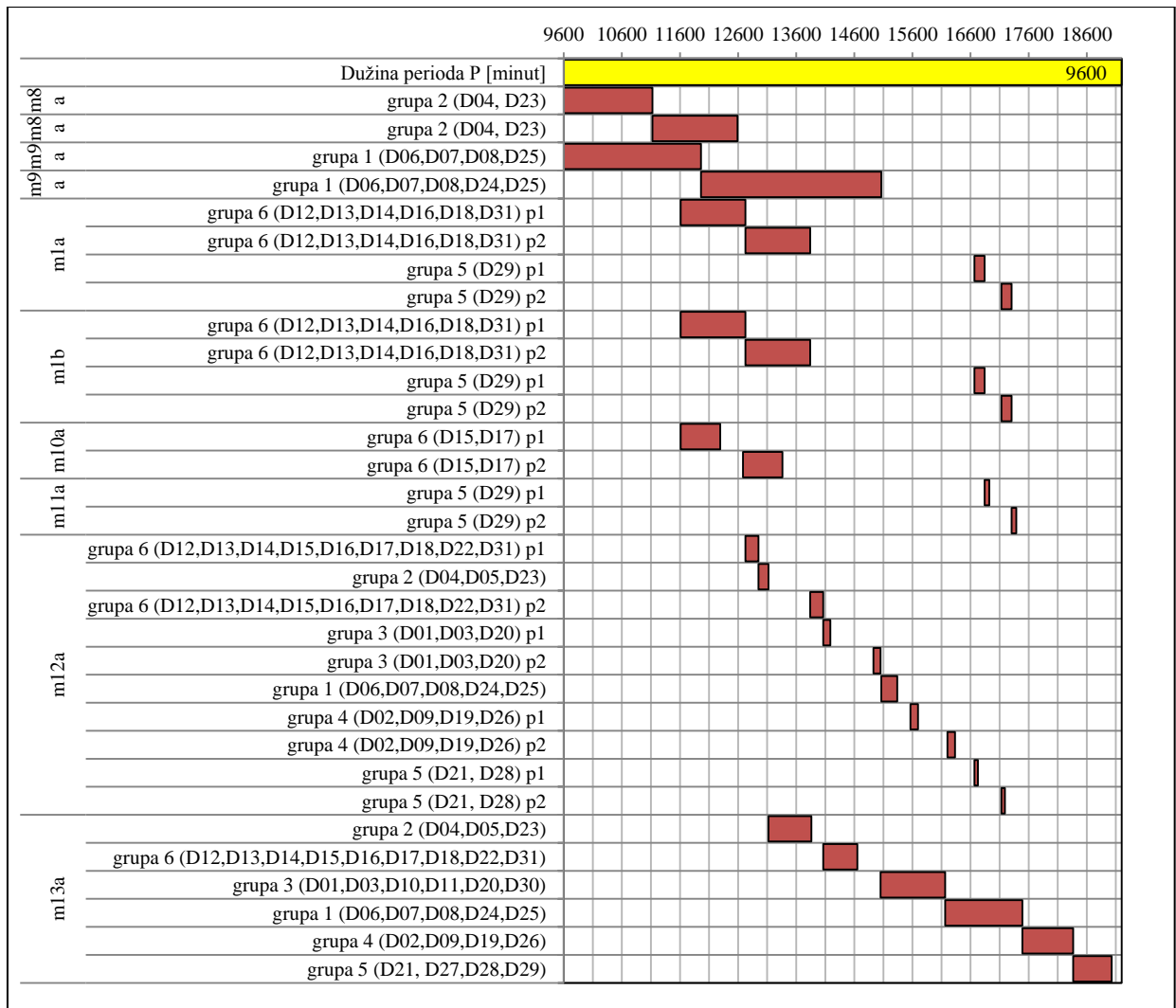
Tehnološki sistem	Grupa	Ukupno vreme obrade [minut]	Početak obrade [minut]	Završetak obrade [minut]	Trajanje planskog perioda P [minut]
m7a	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p1	1071	9600	10671	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p2	1071	10671	11742	9600
	grupa 1 (D24)	170	11742	11912	9600
	grupa 2 (D05)	183	11912	12095	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	776	12095	12871	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	776	12871	13647	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	642	13647	14289	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	642	14289	14931	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	459	14931	15390	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	459	15390	15849	9600
m7b	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p1	1071	9600	10671	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p2	1071	10671	11742	9600
	grupa 1 (D24)	170	11742	11912	9600
	grupa 2 (D05)	183	11912	12095	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	776	12095	12871	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	776	12871	13647	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	642	13647	14289	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	642	14289	14931	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	459	14931	15390	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	459	15390	15849	9600
m7c	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p1	1071	9600	10671	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p2	1071	10671	11742	9600
	grupa 1 (D24)	170	11742	11912	9600
	grupa 2 (D05)	183	11912	12095	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	776	12095	12871	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	776	12871	13647	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	642	13647	14289	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	642	14289	14931	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	459	14931	15390	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	459	15390	15849	9600
m7d	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p1	941	10671	11612	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p2	941	11742	12683	9600
	grupa 2 (D05)	200	12683	12883	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	1023	12883	13906	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	1023	13906	14929	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	637	14929	15566	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	637	15566	16203	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	464	16203	16667	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	464	16667	17131	9600
m7e	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p1	941	10671	11612	9600

	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p2	941	11742	12683	9600
	grupa 2 (D05)	200	12683	12883	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	1023	12883	13906	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	1023	13906	14929	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	637	14929	15566	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	637	15566	16203	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	464	16203	16667	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	464	16667	17131	9600
m7f	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p1	941	10671	11612	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p2	941	11742	12683	9600
	grupa 2 (D05)	200	12683	12883	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	1023	12883	13906	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	1023	13906	14929	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	637	14929	15566	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	637	15566	16203	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	464	16203	16667	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	464	16667	17131	9600
m8a	grupa 2 (D04, D23)	1525	9600	11125	9600
m8a	grupa 2 (D04, D23)	1465	11125	12590	9600
m9a	grupa 1 (D06,D07,D08,D25)	2360	9600	11960	9600
m9a	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	3105	11960	15065	9600
m1a	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31) p1	1114	11612	12726	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31) p2	1114	12726	13840	9600
	grupa 5 (D29) p1	175	16667	16842	9600
	grupa 5 (D29) p2	175	17131	17306	9600
m1b	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31) p1	1114	11612	12726	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31) p2	1114	12726	13840	9600
	grupa 5 (D29) p1	175	16667	16842	9600
	grupa 5 (D29) p2	175	17131	17306	9600
m10a	grupa 6 (D15,D17) p1	680	11612	12292	9600
	grupa 6 (D15,D17) p2	680	12683	13363	9600
m11a	grupa 5 (D29) p1	80	16842	16922	9600
	grupa 5 (D29) p2	80	17306	17386	9600
m12a	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p1	225	12726	12951	9600
	grupa 2 (D04,D05,D23)	172	12951	13123	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p2	225	13840	14065	9600
	grupa 3 (D01,D03,D20) p1	122	14065	14187	9600
	grupa 3 (D01,D03,D20) p2	122	14929	15051	9600
	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	272	15065	15337	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	130	15566	15696	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	130	16203	16333	9600
	grupa 5 (D21, D28) p1	60	16667	16727	9600
	grupa 5 (D21, D28) p2	60	17131	17191	9600
m13a	grupa 2 (D04,D05,D23)	738	13123	13861	9600

grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31)	588	14065	14653	9600
grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1113	15051	16164	9600
grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	1328	16164	17492	9600
grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	874	17492	18366	9600
grupa 5 (D21, D27,D28,D29)	662	18366	19028	9600



Slika 42. Gant dijagram–faza obrade 2 (paralelni postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada - od tehnološkog sistema m7a do tehnološkog sistema m7f)



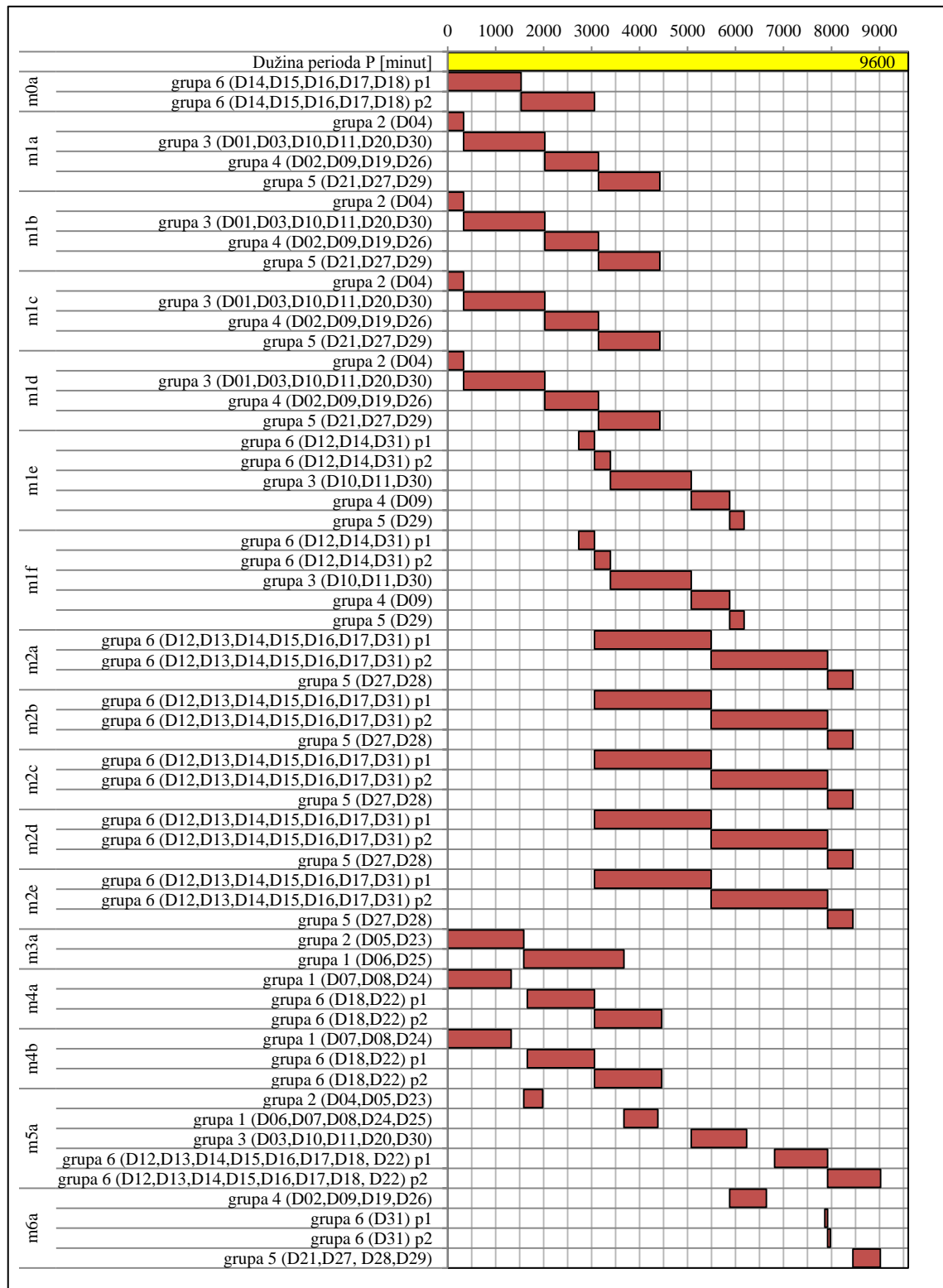
Slika 43. Gant dijagram– faza obrade 2 (paralelni postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada - od tehnološkog sistema m8a do tehnološkog sistema m13a)

Tabela 40. Terminski plan proizvodnje – faza obrade 1 (kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada)

Tehnološki sistem	Grupa	Ukupno vreme obrade [minut]	Početak obrade [minut]	Završetak obrade [minut]	Trajanje planskog perioda P [minut]
m0a	grupa 6 (D14,D15,D16,D17,D18) p1	1531	0	1531	9600
	grupa 6 (D14,D15,D16,D17,D18) p2	1531	1531	3062	9600
m1a	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1b	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1c	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600

	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
m1d	grupa 2 (D04)	333	0	333	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1692	333	2025	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	1120	2025	3145	9600
	grupa 5 (D21,D27,D29)	1278	3145	4423	9600
	grupa 6 (D12,D14,D31) p1	331	2731	3062	9600
m1e	grupa 6 (D12,D14,D31) p2	331	3062	3393	9600
	grupa 3 (D10,D11,D30)	1685	3393	5078	9600
	grupa 4 (D09)	800	5078	5878	9600
	grupa 5 (D29)	300	5878	6178	9600
	grupa 6 (D12,D14,D31) p1	331	2731	3062	9600
m1f	grupa 6 (D12,D14,D31) p2	331	3062	3393	9600
	grupa 3 (D10,D11,D30)	1685	3393	5078	9600
	grupa 4 (D09)	800	5078	5878	9600
	grupa 5 (D29)	300	5878	6178	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	3062	5490	9600
m2a	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	5490	7918	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7918	8445	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	3062	5490	9600
m2b	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	5490	7918	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7918	8445	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	3062	5490	9600
m2c	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	5490	7918	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7918	8445	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	3062	5490	9600
m2d	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	5490	7918	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7918	8445	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p1	2428	3062	5490	9600
m2e	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D31) p2	2428	5490	7918	9600
	grupa 5 (D27,D28)	527	7918	8445	9600
	grupa 2 (D05,D23)	1585	0	1585	9600
m3a	grupa 1 (D06,D25)	2090	1585	3675	9600
	grupa 1 (D07,D08,D24)	1325	0	1325	9600
	grupa 6 (D18,D22) p1	1400	1662	3062	9600
m4a	grupa 6 (D18,D22) p2	1400	3062	4462	9600
	grupa 1 (D07,D08,D24)	1325	0	1325	9600
	grupa 6 (D18,D22) p1	1400	1662	3062	9600
m4b	grupa 6 (D18,D22) p2	1400	3062	4462	9600
	grupa 2 (D04,D05,D23)	396	1585	1981	9600
	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	705	3675	4380	9600
m5a	grupa 3 (D03,D10,D11,D20,D30)	1153	5078	6231	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18, D22) p1	1104	6814	7918	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18, D22) p2	1104	7918	9022	9600

m6a	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	764	5878	6642	9600
	grupa 6 (D31) p1	58	7860	7918	9600
	grupa 6 (D31) p2	58	7918	7976	9600
	grupa 5 (D21,D27, D28,D29)	572	8445	9017	9600



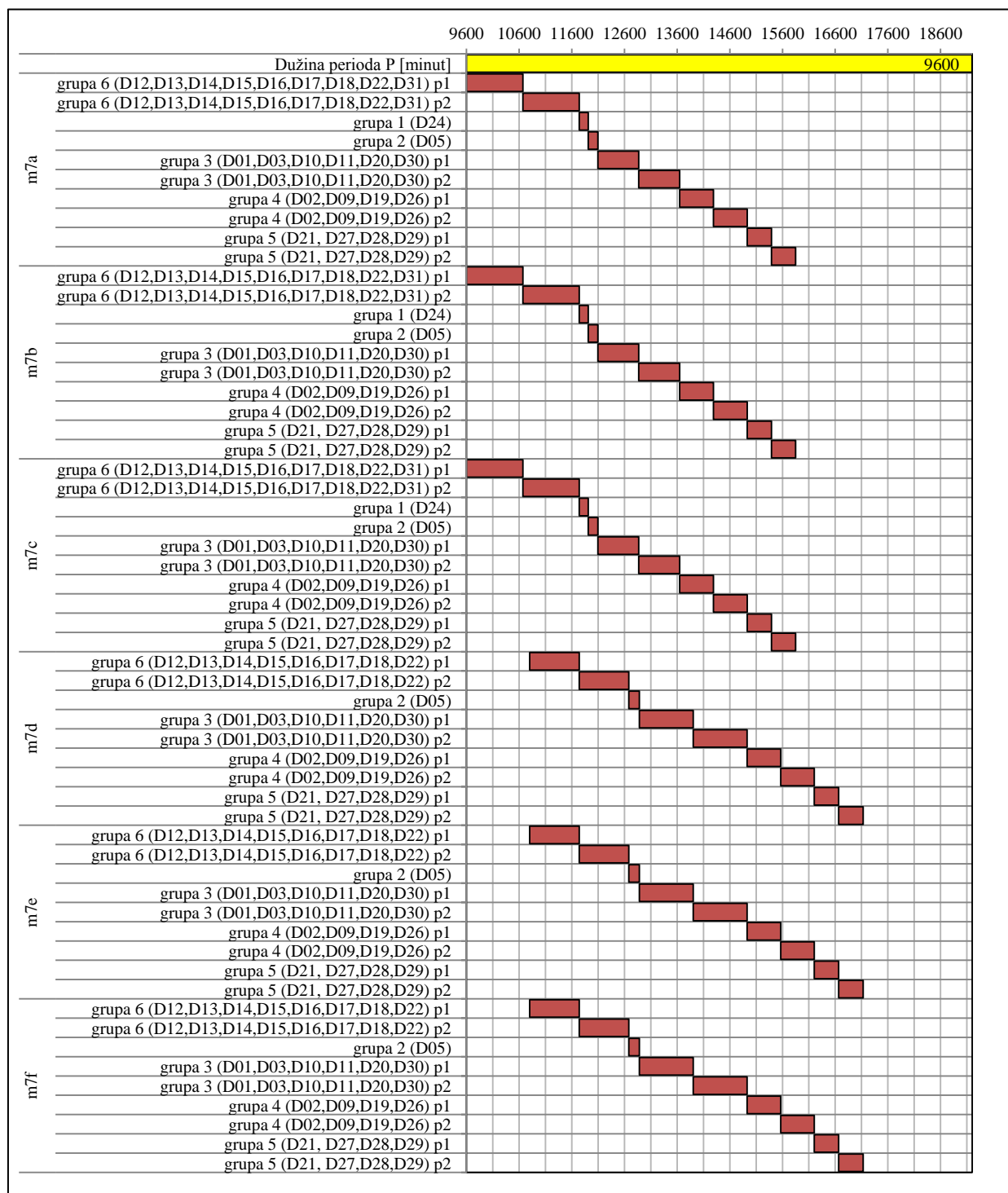
Slika 44. Gant dijagram– faza obrade 1 (kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada)

Tabela 41. Terminski plan – faza obrade 2 (kombinovani postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada)

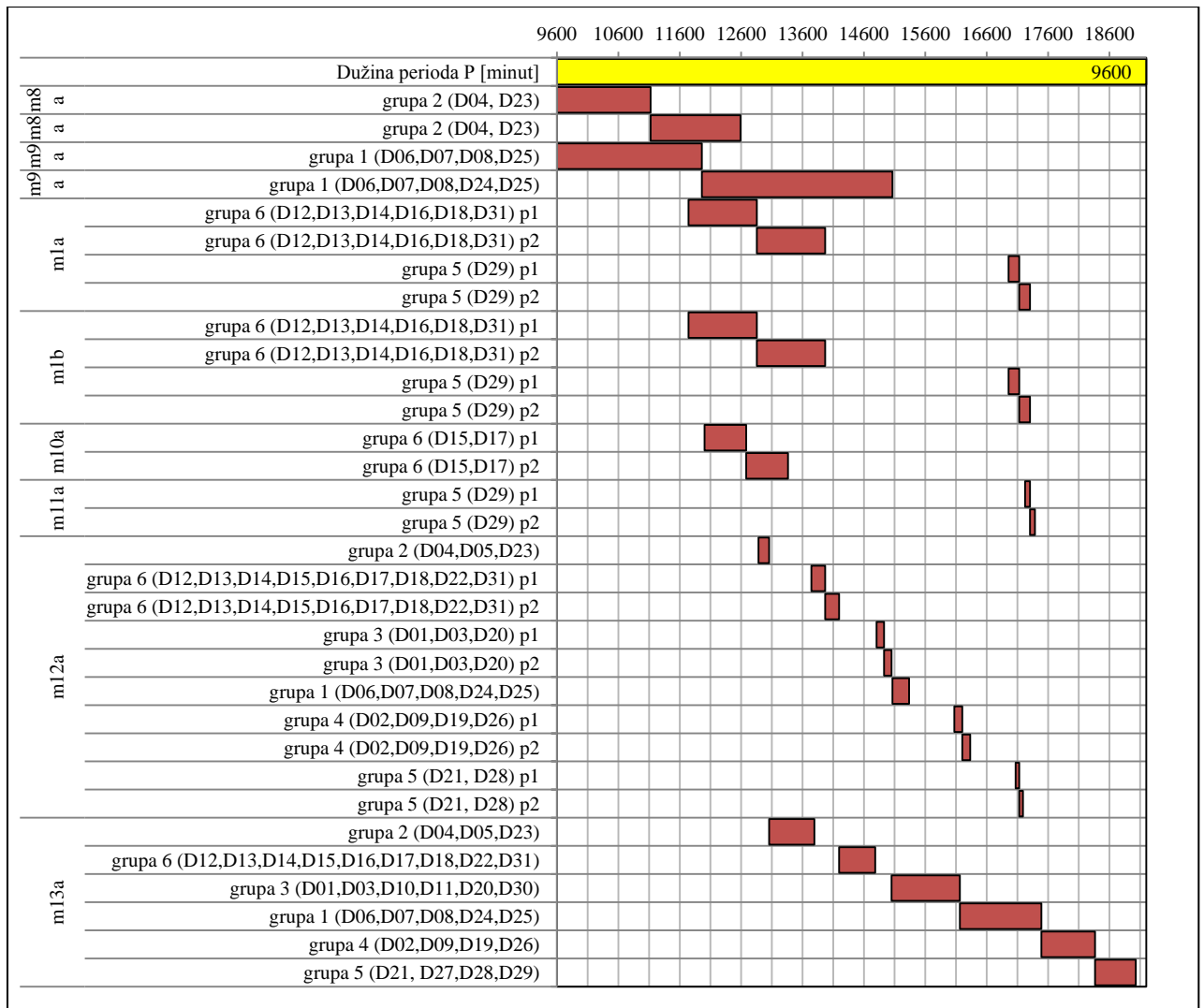
Tehnološki sistem	Grupa	Ukupno vreme obrade [minut]	Početak obrade [minut]	Završetak obrade [minut]	Trajanje planskog perioda P [minut]
m7a	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p1	1071	9600	10671	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p2	1071	10671	11742	9600
	grupa 1 (D24)	170	11742	11912	9600
	grupa 2 (D05)	183	11912	12095	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	776	12095	12871	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	776	12871	13647	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	642	13647	14289	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	642	14289	14931	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	459	14931	15390	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	459	15390	15849	9600
m7b	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p1	1071	9600	10671	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p2	1071	10671	11742	9600
	grupa 1 (D24)	170	11742	11912	9600
	grupa 2 (D05)	183	11912	12095	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	776	12095	12871	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	776	12871	13647	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	642	13647	14289	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	642	14289	14931	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	459	14931	15390	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	459	15390	15849	9600
m7c	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p1	1071	9600	10671	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p2	1071	10671	11742	9600
	grupa 1 (D24)	170	11742	11912	9600
	grupa 2 (D05)	183	11912	12095	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	776	12095	12871	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	776	12871	13647	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	642	13647	14289	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	642	14289	14931	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	459	14931	15390	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	459	15390	15849	9600
m7d	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p1	941	10801	11742	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p2	941	11742	12683	9600
	grupa 2 (D05)	200	12683	12883	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	1023	12883	13906	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	1023	13906	14929	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	637	14929	15566	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	637	15566	16203	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	464	16203	16667	9600
grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	464	16667	17131	9600	

m7e	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p1	941	10801	11742	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p2	941	11742	12683	9600
	grupa 2 (D05)	200	12683	12883	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	1023	12883	13906	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	1023	13906	14929	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	637	14929	15566	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	637	15566	16203	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	464	16203	16667	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	464	16667	17131	9600
m7f	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p1	941	10801	11742	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22) p2	941	11742	12683	9600
	grupa 2 (D05)	200	12683	12883	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p1	1023	12883	13906	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30) p2	1023	13906	14929	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	637	14929	15566	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	637	15566	16203	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p1	464	16203	16667	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29) p2	464	16667	17131	9600
m8a	grupa 2 (D04, D23)	1525	9600	11125	9600
m8a	grupa 2 (D04, D23)	1465	11125	12590	9600
m9a	grupa 1 (D06,D07,D08,D25)	2360	9600	11960	9600
m9a	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	3105	11960	15065	9600
m1a	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31) p1	1114	11742	12856	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31) p2	1114	12856	13970	9600
	grupa 5 (D29) p1	175	16956	17131	9600
	grupa 5 (D29) p2	175	17131	17306	9600
m1b	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31) p1	1114	11742	12856	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D16,D18,D31) p2	1114	12856	13970	9600
	grupa 5 (D29) p1	175	16956	17131	9600
	grupa 5 (D29) p2	175	17131	17306	9600
m10a	grupa 6 (D15,D17) p1	680	12003	12683	9600
	grupa 6 (D15,D17) p2	680	12683	13363	9600
m11a	grupa 5 (D29) p1	80	17226	17306	9600
	grupa 5 (D29) p2	80	17306	17386	9600
m12a	grupa 2 (D04,D05,D23)	172	12883	13055	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p1	225	13745	13970	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31) p2	225	13970	14195	9600
	grupa 3 (D01,D03,D20) p1	122	14807	14929	9600
	grupa 3 (D01,D03,D20) p2	122	14929	15051	9600
	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	272	15065	15337	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p1	130	16073	16203	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26) p2	130	16203	16333	9600
	grupa 5 (D21, D28) p1	60	17071	17131	9600
grupa 5 (D21, D28) p2	60	17131	17191	9600	

m13a	grupa 2 (D04,D05,D23)	738	13055	13793	9600
	grupa 6 (D12,D13,D14,D15,D16,D17,D18,D22,D31)	588	14195	14783	9600
	grupa 3 (D01,D03,D10,D11,D20,D30)	1113	15051	16164	9600
	grupa 1 (D06,D07,D08,D24,D25)	1328	16164	17492	9600
	grupa 4 (D02,D09,D19,D26)	874	17492	18366	9600
	grupa 5 (D21, D27,D28,D29)	662	18366	19028	9600



Slika 45. Gant dijagram – faza obrade 2 (kombinovani postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada- od tehnološkog sistema m7a do tehnološkog sistema m7f)



Slika 46. Gant dijagram – faza obrade 2 (kombinovani postupak prelaska grupa predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada- od tehnološkog sistema m8a do tehnološkog sistema m13a)

2.3. Simulacija

Za potrebe studije slučaja kreirana su tri simulaciona modela koja odgovaraju terminskim planovima. Za potrebe kreiranja simulacionih modela korišten je isti simulacioni softver kao i u prethodnoj studiji slučaja. Validacija i verifikacija (logika funkcionisanja i verodostojnost predstavljanja realnog sistema) simulacionog modela su izvršene testiranjem svakog modela prema količini grupa predmeta rada koji izlaze iz procesa proizvodnje i vremenima završetaka svake grupe predmeta rada (za svaku od dve faze obrade).

U tabelama 42 i 43 su dati podaci koji se odnose na količine i vremena završetaka grupa predmeta rada u virtuelnim proizvodnim ćelijama za svaki od tri terminska plana.

Tabela 42. Broj završenih grupa predmeta rada

Postupak prelaska grupe predmeta rada sa operacije na operaciju	Broj završenih grupa predmeta rada u okviru postavljanog vremena simulacionog eksperimenta
Redni (faze obrade 1 i 2)	6
Paralelni (faze obrade 1 i 2)	6
Kombinovani (faze obrade 1 i 2)	6

Tabela 43. Vremena završetaka obrade grupa predmeta rada

Postupak prelaska grupe predmeta rada sa operacije na operaciju	Vremena završetaka obrade grupa predmeta rada u okviru postavljanog vremena simulacionog eksperimenta [minut]	
Redni (faza obrade 1)	Grupa 1	4380
	Grupa 2	1981
	Grupa 3	6412
	Grupa 4	6823
	Grupa 5	8828
	Grupa 6	9477
Redni (faza obrade 2)	Grupa 1	16814
	Grupa 2	13500
	Grupa 3	14613
	Grupa 4	15487
	Grupa 5	17476
	Grupa 6	18907
Paralelni (faza obrade 1)	Grupa 1	4380
	Grupa 2	1981
	Grupa 3	6637
	Grupa 4	6642
	Grupa 5	7817
	Grupa 6	7822
Paralelni (faza obrade 2)	Grupa 1	17492
	Grupa 2	13861
	Grupa 3	16164
	Grupa 4	18366
	Grupa 5	19028
	Grupa 6	14653
Kombinovani (faza obrade 1)	Grupa 1	4380
	Grupa 2	1981
	Grupa 3	6231
	Grupa 4	6642
	Grupa 5	9017
	Grupa 6	9022
Kombinovani (faza obrade 2)	Grupa 1	17492
	Grupa 2	13793
	Grupa 3	16164
	Grupa 4	18366
	Grupa 5	19028
	Grupa 6	14783

Iz rezultata se vidi da svaki model odgovara izračunatim vremenima iz terminskih planova, kao i da svaki model daje iste izlazne količine kao i što je planirano, odnosno može se zaključiti da je ovime potvrđena validnost i verifikacija simulacionih modela. Vreme trajanja svake simulacije je 19200 minuta (dva perioda P od 9600 minuta) Jedan radni dan ima 16 časova (2 smene po osam časova). Svaki od tri simulaciona eksperimenta je sproveden u 100 replikacija radi verodostojnosti rezultata. Izgled simulacionih modela neće biti prikazan u doktorskoj disertaciji zbog veličine samih modela. Rezultati iz sprovedenih eksperimenata (simulacija) su prikazani u prilogima i detaljnije će biti diskutovani u narednom poglavlju doktorske disertacije.

VII Diskusija rezultata istraživanja

U okviru doktorske disertacije sprovedeno istraživanje je obuhvatilo dve studije slučaja:

- proizvodnju pločastog nameštaja i
- proizvodnju priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema.

Istraživanje je sprovedeno u skladu sa ciljem ispitivanja postavljenih hipoteza iz poglavlja 3 i u skladu sa definisanim ograničenjima iz poglavlja 4. Za studiju slučaja proizvodnje pločastog nameštaja razmatrana je proizvodnja koja se odvija putem kreiranih virtuelnih proizvodnih ćelija u jednoj fazi obrade ($N=1$) i sa vremenom trajanja perioda P od 4800 minuta minuta. Studija slučaja proizvodnje priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema predstavlja kompleksniji primer u kojem se proizvodnja odvija putem kreiranih virtuelnih proizvodnih ćelija u dve faze obrade ($N>1$) i sa vremenom trajanja perioda P od 9600 minuta po fazi obrade.

Obe studije slučaja imaju odgovarajuće zajedničke karakteristike u pogledu koraka modela:

- predmeti rada su grupisani primenom metode koeficijenata sličnosti (Irani, Subramanian, and Allam 1999);
- početne konfiguracije virtuelnih proizvodnih ćelija su kreirane u odnosu na obradne potrebe za prethodno formiranih grupa predmeta rada i primenom algoritma najkraće putanje iz teorije grafova (Dijkstra 1959);
- broj faza obrade N je kreiran u skladu sa tehnološkim postupkom iz procesa proizvodnje;
- određena je početna dužina perioda P ;
- izvršena je provera prvog uslova za period P poređenjem dužine perioda sa opterećenjem tehnoloških sistema za grupe predmeta rada (u skladu sa rezultatima provere izvršena je rekonfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija dodavanjem ili zamenom tehnoloških sistema);
- izvršena je provera drugog uslova za period P poređenjem sa terminskim planovima proizvodnje za redni, paralelni i kombinovani postupak prelaska grupa predmeta rada (u skladu sa rezultatima provere nije izvršena rekonfiguracija virtuelnih proizvodnih

ćelija već se ovaj uslov nastojao zadovoljiti promenom postupka prelaska određenih grupa predmeta rada) i

- izvršena je provera terminskih planova proizvodnje putem simulacionih eksperimenata.

Radi provere terminskih planova proizvodnje, za svaku studiju slučaja kreirana su tri simulaciona modela koji predstavljaju različite postupke prelaska grupa predmeta rada sa operacije na operaciju, u okviru procesa proizvodnje koji su bili takvi da omogućavaju eksperimentisanje sa različitim postupcima prelaska grupa predmeta rada. Eksperimenti su vršeni na ovaj način jer postupak prelaska grupe predmeta rada sa operacije na operaciju utiče na vreme trajanja ciklusa proizvodnje koji dalje utiče na dužinu perioda P. Simulacioni eksperimenti su izvršeni u 100 replikacija radi prikupljanja odgovarajućih statistika koje su date u izveštajima koji se nalaze u prilogima.

Rezultati simulacionih eksperimenata obuhvataju nekoliko kategorija podataka:

- vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu (za paralelni i kombinovani postupak prelaska određenih grupa predmeta rada vremena rada su data po partiji) (*engl. Value added time per entity*);
- ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada (*engl. Accumulated value added time*);
- iskorišćenje tehnoloških sistema (*engl. Scheduled utilization*)
 - za vremenski period P u prvoj studiji slučaja;
 - za celokupan proces proizvodnje odnosno za obe faze obrade zajedno (vremenski period 2·P) i za svaku fazu obrade posebno (vremenski period P) u drugoj studiji slučaja i
- vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada (*engl. Tally statistics*).

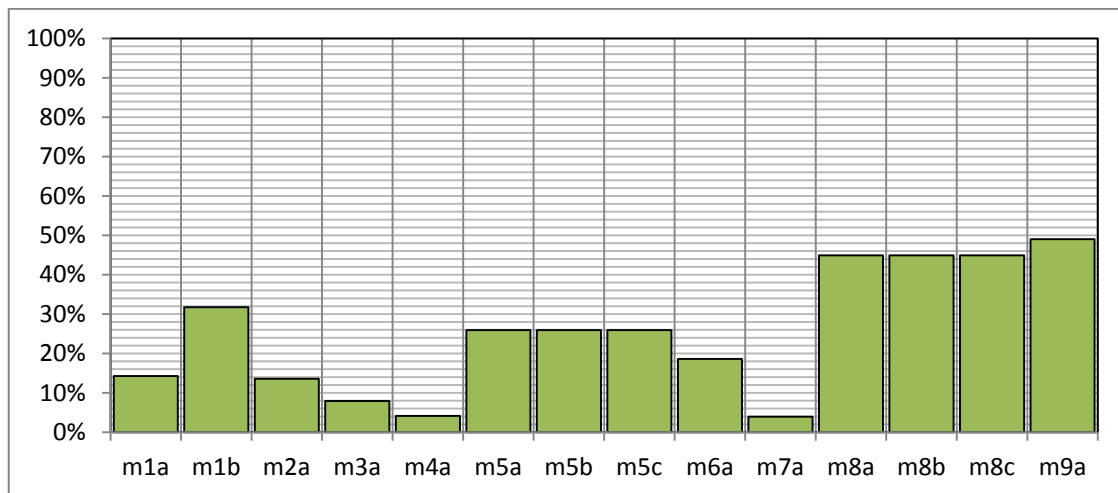
Rezultati simulacionih eksperimenata za obe studije slučaja potvrđuju ispravnost kreiranih terminskih planova kroz vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu, ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada i vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada.

Rezultati simulacionih eksperimenata su analizirani za obe studije slučaja.

U prvoj studiji slučaja rezultati simulacionog eksperimenta pokazuju da proces proizvodnje ne može biti završen za dati vremenski period od 4800 minuta kada se proizvodnja obavlja putem rednog postupka prelaska grupa predmeta rada. Iz tog razloga

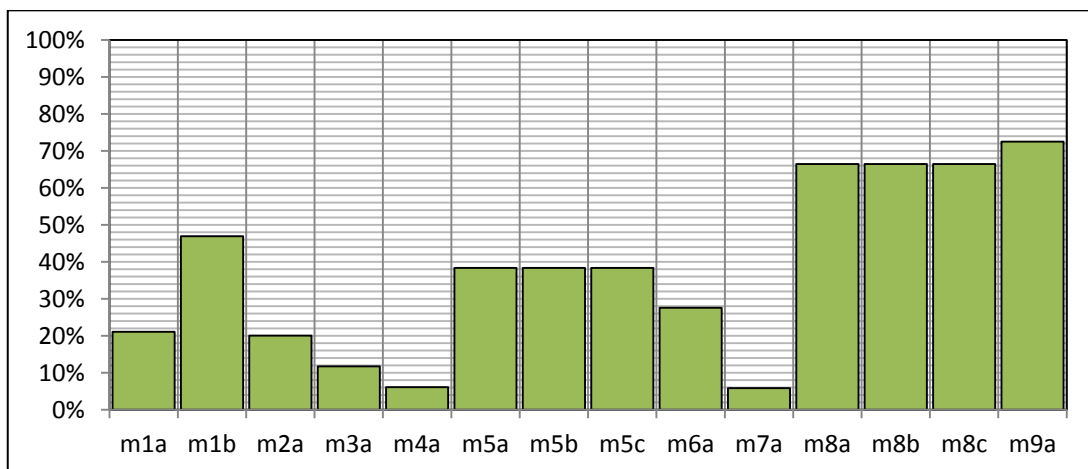
je za redni postupak prelaska dužina perioda P povećana na 7100 minuta kako bi se proizvodnja svih grupa predmeta rada mogla završiti (u prilogu P2 je prikazan izveštaj za vremenski period P od 7100 minuta). U drugom i trećem simulacionom eksperimentu (paralelni i kombinovani postupak prelaska određenih grupa predmeta rada) rezultati pokazuju da je proizvodnja grupa predmeta rada završena u okviru predviđenog planskog perioda P od 4800 minuta.

Iskorišćenje tehnoloških sistema se kreće od 4% do 49% kod rednog postupka prelaska, što je najlošiji rezultat zahvaljujući produženju perioda P (slika 47).

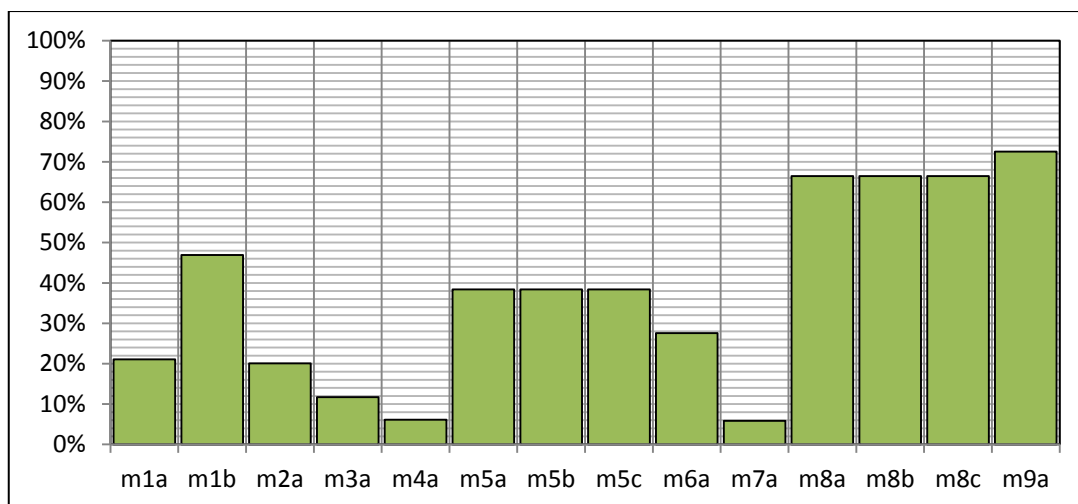


Slika 47. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P

Iskorišćenje tehnoloških sistema se kreće od 6% do 73% kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska, u zavisnosti od utrošenog vremena na odgovarajućoj operaciji rada na tehnološkim sistemima (slika 48 za paralelni postupak prelaska i slika 49 za kombinovani postupak prelaska).



Slika 48. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P



Slika 49. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P

Određeni tehnološki sistemi (poput m4a i m7a) imaju nisku iskorišćenost iz razloga što po tehnološkom postupku operacije na njima imaju kratko vreme trajanja u odnosu na vreme trajanja perioda P. Iskorišćenje tehnoloških sistema kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska grupa predmeta rada je jednako. Sa druge strane, iskorišćenje tehnoloških sistema je poboljšano kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska i iznosi od 2% do 23% (tabela 44).

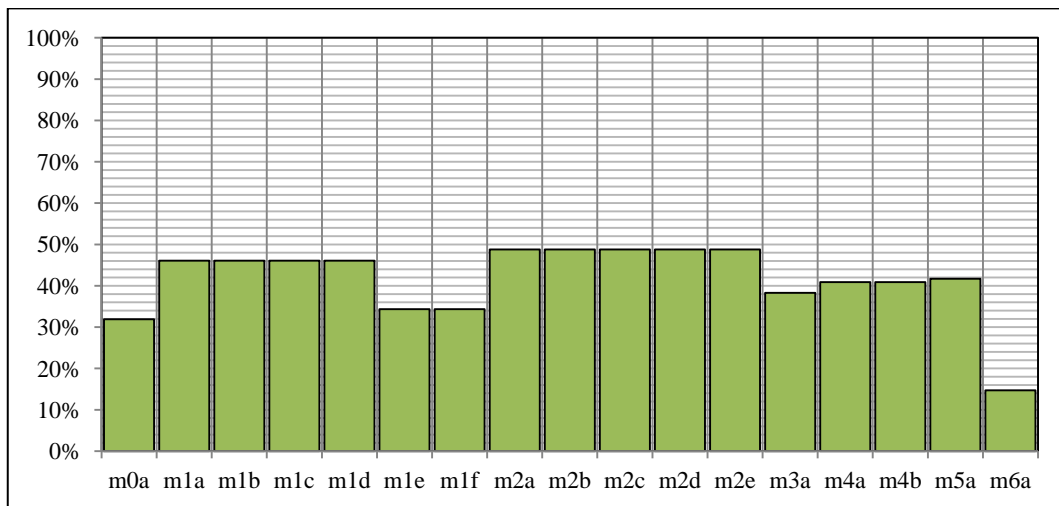
Tabela 44. Razlika u procentu iskorišćenja tehnoloških sistema kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada

Tehnološki sistem	Procenat razlike iskorišćenja tehnoloških sistema u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada
m1a	7%
m1b	15%
m2a	6%
m3a	4%
m4a	2%
m5a	12%
m5b	12%
m5c	12%
m6a	9%
m7a	2%
m8a	22%
m8b	22%
m8c	22%
m9a	23%

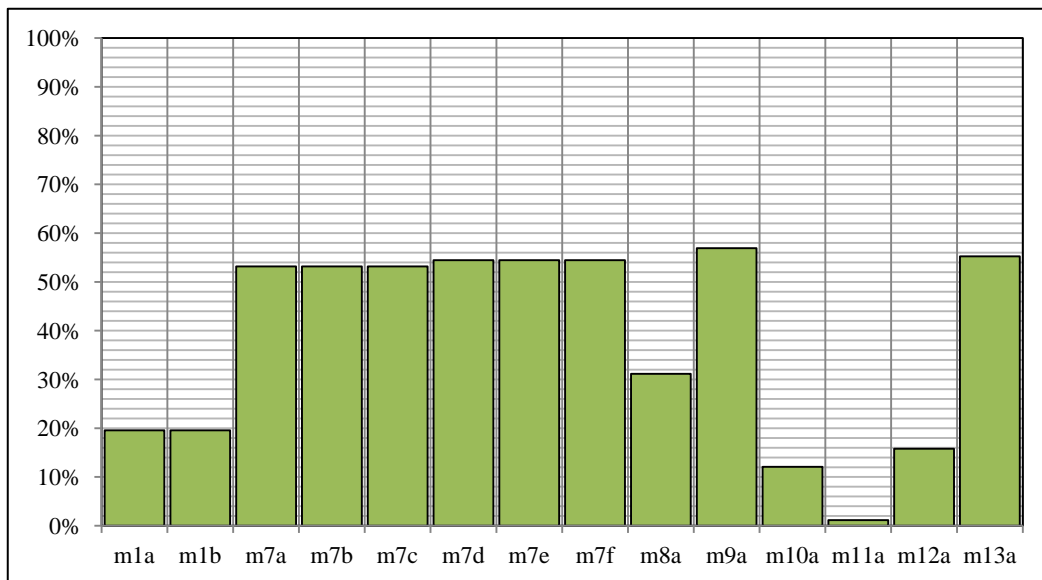
U drugoj studiji slučaja simulacioni eksperiment je izvršen za vreme trajanja $2 \cdot P$ zbog dve faze obrade, odnosno za vreme od 19200 minuta (9600 minuta po fazi obrade). Rezultati simulacionih eksperimenata pokazuju da proces proizvodnje može biti završen za dati

vremenski period u svakoj fazi obrade od 9600 minuta kada se proizvodnja obavlja putem rednog, paralelnog ili kombinovanog postupka prelaska grupa predmeta rada.

Slike 50 i 51 prikazuju procenat iskorišćenosti tehnoloških sistema u okviru svake faze obrade za redni postupak prelaska grupa predmeta rada. Iskorišćenje tehnoloških sistema se kreće od 15% do 49% u prvoj fazi obrade i od 1% do 57% u drugoj fazi obrade kod rednog postupka prelaska grupa predmeta rada.

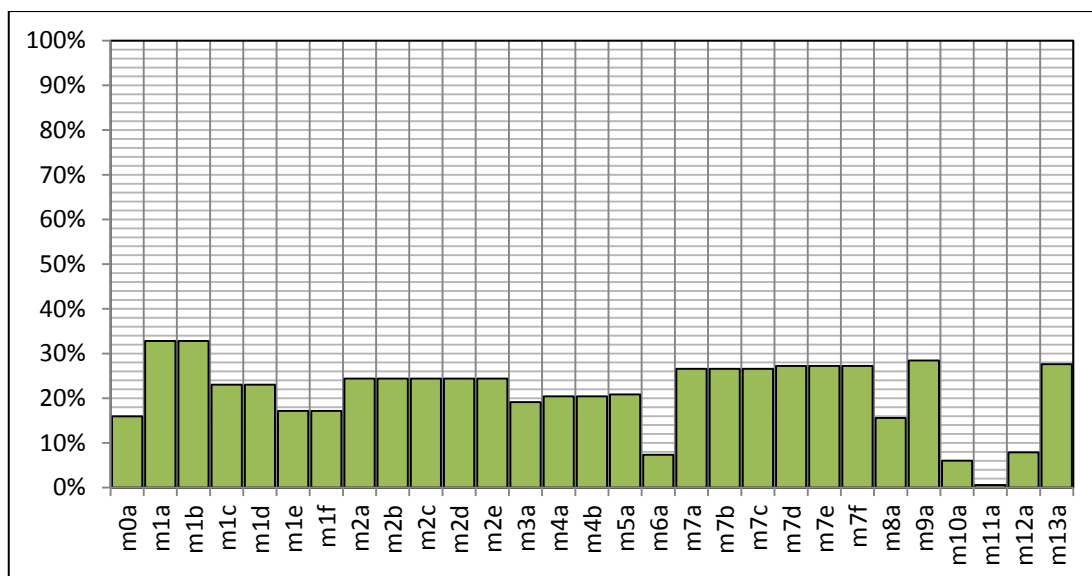


Slika 50. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 1)



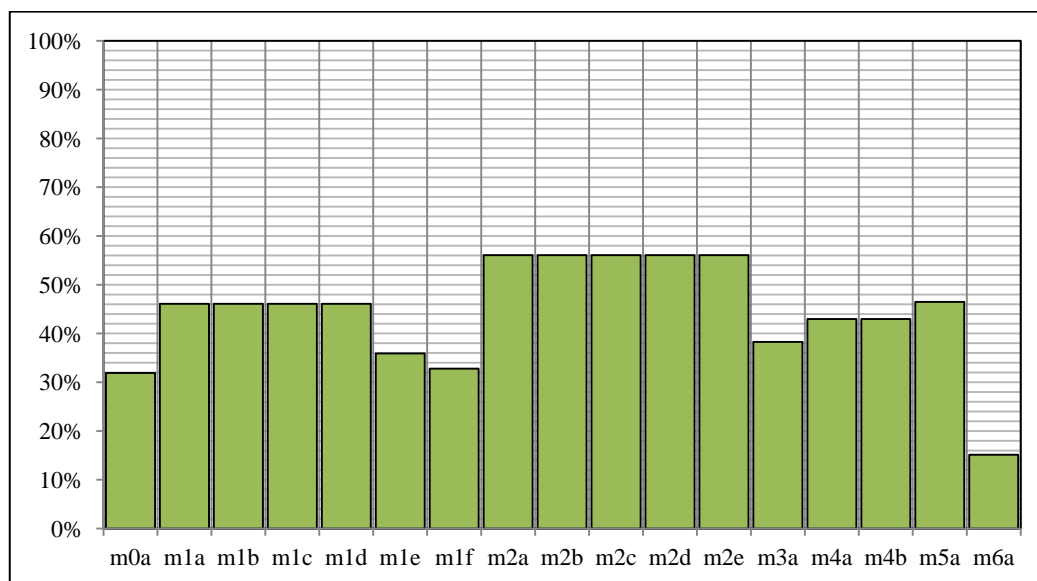
Slika 51. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 2)

Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema u okviru celokupnog procesa proizvodnje (obe faze obrade) za redni postupak prelaska grupa predmeta rada je prikazan na slici 52. Procenat iskorišćenja sa slike 52 predstavlja prosečnu iskorišćenost tehnoloških sistema iz obe faze obrade i kreće se u rasponu od 1% do 33%.

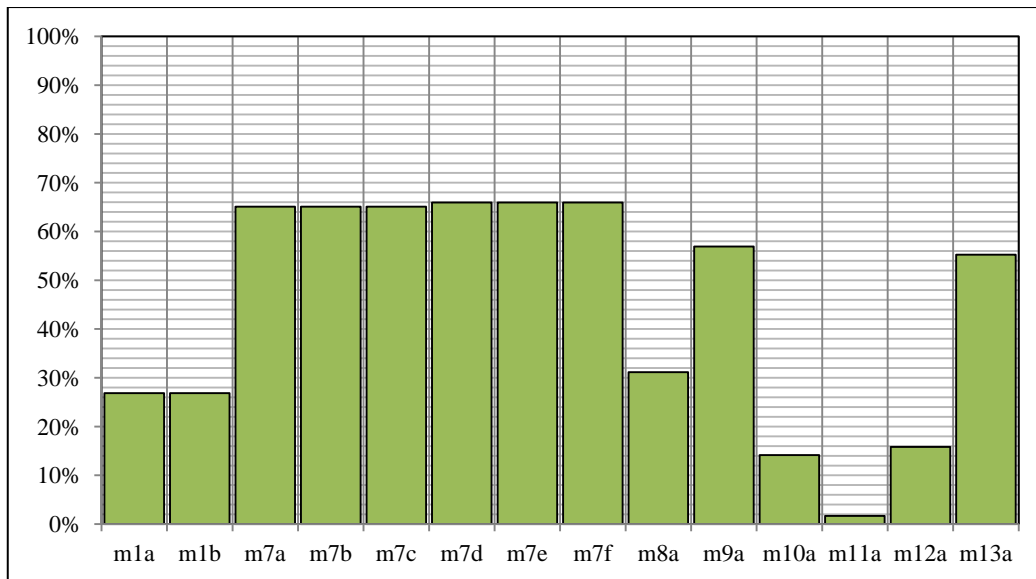


Slika 52. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period 2-P

Slike 53 i 54 prikazuju procenat iskorišćenosti tehnoloških sistema u okviru svake faze obrade za paralelni postupak prelaska određenih grupa predmeta rada. Iskorišćenje tehnoloških sistema se kreće od 15% do 56% u prvoj fazi obrade i od 2% do 66% u drugoj fazi obrade kod paralelnog postupka prelaska grupa predmeta rada.

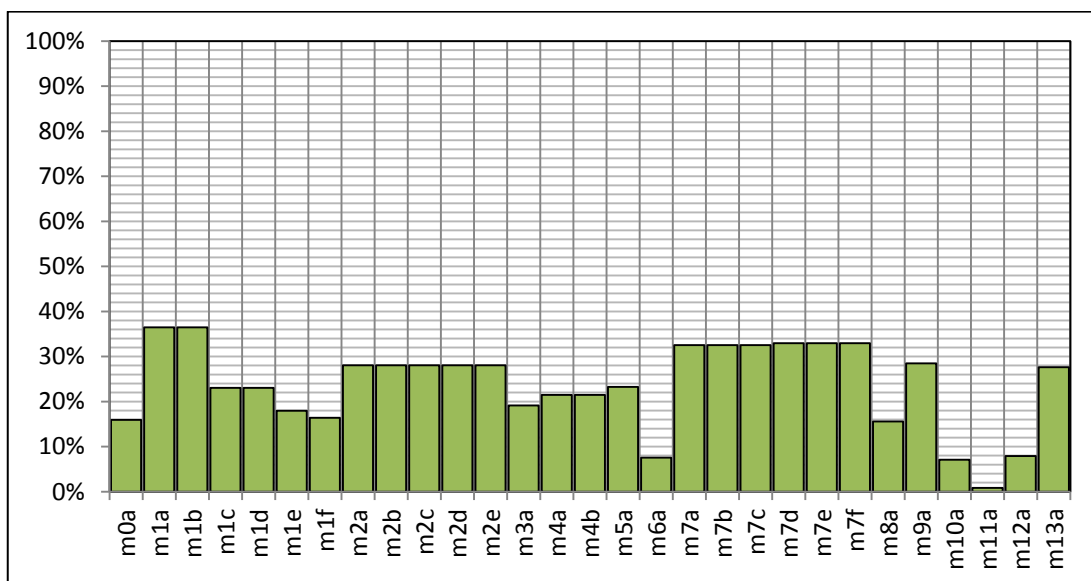


Slika 53. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 1)



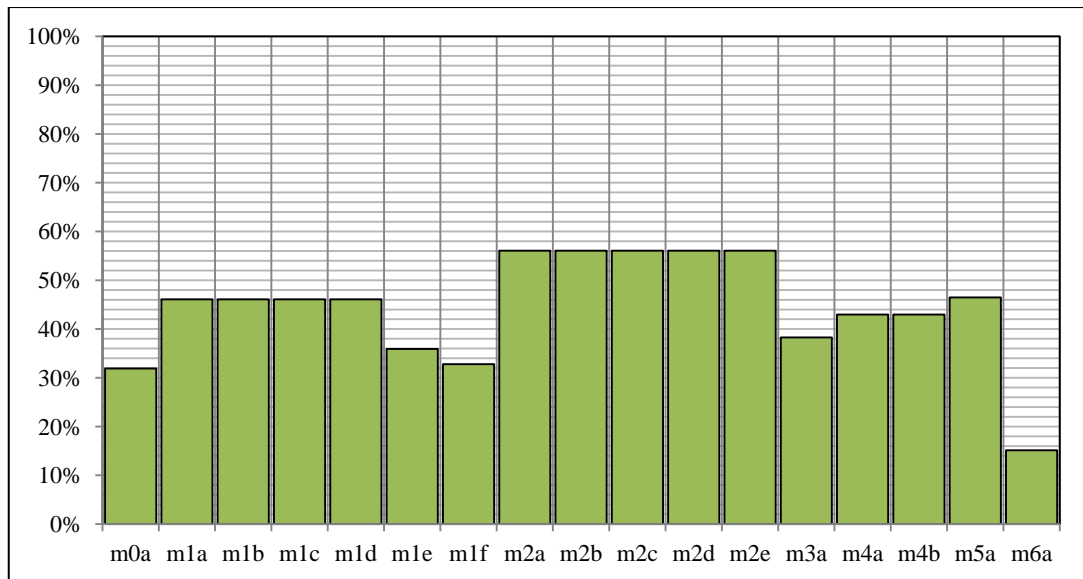
Slika 54. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 2)

Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema u okviru celokupnog procesa proizvodnje (obe faze obrade) za paralelni postupak prelaska određenih grupa predmeta rada je prikazan na slici 55. Procenat iskorišćenja sa slike 55 predstavlja prosečnu iskorišćenost tehnoloških sistema iz obe faze obrade i kreće se u rasponu od 1% do 36%.

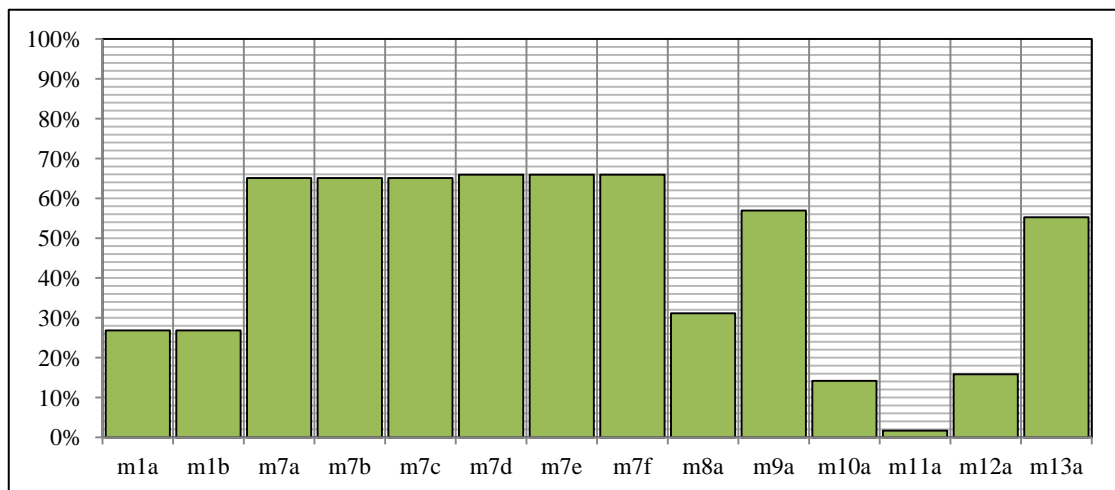


Slika 55. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period 2·P

Slike 56 i 57 prikazuju procenat iskorišćenosti tehnoloških sistema u okviru svake faze obrade za kombinovani postupak prelaska određenih grupa predmeta rada. Iskorišćenje tehnoloških sistema se kreće od 15% do 56% u prvoj fazi obrade i od 2% do 66% u drugoj fazi obrade kod kombinovanog postupka prelaska grupa predmeta rada.



Slika 56. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 1)

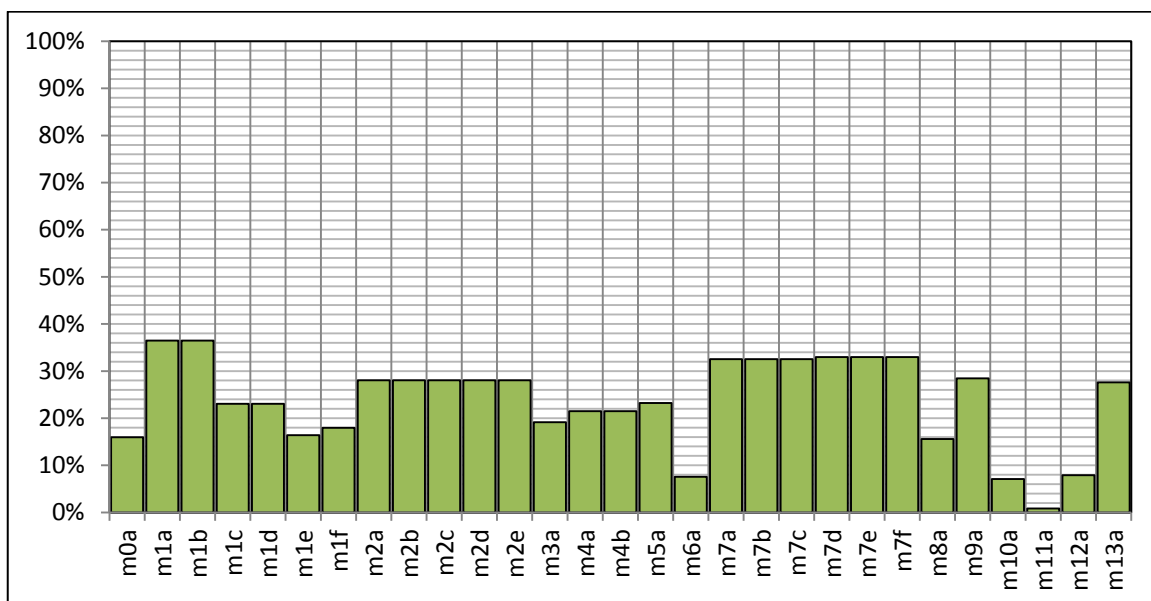


Slika 57. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period P (faza obrade 2)

Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema u okviru celokupnog procesa proizvodnje (obe faze obrade) za kombinovani postupak prelaska grupa predmeta rada je prikazan na slici 58. Procenat iskorišćenja sa slike 58 predstavlja prosečnu iskorišćenost tehnoloških sistema iz obe faze obrade i kreće se u rasponu od 1% do 36%.

Određeni tehnološki sistemi imaju nisku iskorišćenost iz razloga što po tehnološkom postupku operacije na njima imaju kratko vreme trajanja u odnosu na vreme trajanja perioda P. Iskorišćenje tehnoloških sistema kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska određenih grupa predmeta rada je jednako. Poboljšanje iskorišćenja tehnoloških sistema kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska određenih grupa predmeta rada u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada se razlikuje od faze od faze. U fazi obrade 1 na određenim tehnološkim sistemima nema poboljšanja u odnosu na redni

postupak prelaska grupa predmeta rada, na određenim tehnološkim sistemima poboljšanje postoji (od 2% do 7%), dok je kod tehnološkog sistema m1f iskorišćenje lošije za 2% (tabela 45).



Slika 58. Procenat iskorišćenja tehnoloških sistema za vremenski period 2-P

Tabela 45. Razlika u procentu iskorišćenja tehnoloških sistema kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada (faza obrade 1)

Tehnološki sistem	Procenat razlike iskorišćenja tehnoloških sistema u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada
m1a	0%
m1b	0%
m1c	0%
m1d	0%
m1e	2%
m1f	-2%
m2a	7%
m2b	7%
m2c	7%
m2d	7%
m2e	7%
m3a	0%
m4a	2%
m4b	2%
m5a	5%
m6a	0%

U fazi obrade 2 na određenim tehnološkim sistemima nema poboljšanja u odnosu na redni postupak prelaska dok na određenim tehnološkim sistemima poboljšanje postoji i iznosi od 1% do 12% (tabela 46).

Tabela 46. Razlika u procentu iskorišćenja tehnoloških sistema kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada (faza obrade 2)

Tehnološki sistem	Procenat razlike iskorišćenja tehnoloških sistema u odnosu na redni postupak prelaska grupa predmeta rada
m1a	7%
m1b	7%
m7a	12%
m7b	12%
m7c	12%
m7d	11%
m7e	11%
m7f	11%
m8a	0%
m9a	0%
m10a	2%
m11a	1%
m12a	0%
m13a	0%

Sprovedeno istraživanje doktorske disertacije i dobijeni rezultati su uporedivi sa ostalim prethodno sprovedenim istraživanjima i njihovim rezultatima u nekoliko kategorija:

- grupna tehnologija i virtuelne proizvodne ćelije;
- primena sistema upravljanja periodičnim serijama i
- parametri sistema upravljanja periodičnim serijama.

Virtuelne proizvodne ćelije zahtevaju prethodno uvođenje grupne tehnologije u preduzeću. U studiji slučaja proizvodnje pločastog nameštaja je prvo ispitana mogućnost primene grupne tehnologije, iz razloga što preduzeće želi da kupcima omogući da u većoj meri odlučuju o izgledu proizvoda što povećava varijantnost proizvodnog miksa. Rezultati istraživanja koji su objavljeni u radu (Suzić et al. 2012) predstavljaju deo istraživanja doktorske disertacije koji je omogućio osnovu za razmatranje upotrebe virtuelnih proizvodnih ćelija u posmatranom proizvodnom sistemu. Virtuelne proizvodne ćelije se kreiraju primenom algoritma iz teorije grafova sa ciljem da se minimizacije rastojanja koje predmeti rada treba da pređu prilikom prelaska sa jednog tehnološkog sistema na drugi. U studiji slučaja proizvodnje pločastog nameštaja kreiran je jedan graf virtuelnih proizvodnih ćelija, dok su u studiji slučaja proizvodnje priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema kreirana dva grafa virtuelnih proizvodnih ćelija, odnosno jedan graf za svaku fazu obrade. Istraživanje sprovedeno u doktorskoj disertaciji spada u grupu istraživanja koja kao proizvodni resurs za formiranje virtuelnih proizvodnih ćelija koristi tehnološke sisteme, poput istraživanja objavljenih u radovima

(Altom 1978), (McLean, Bloom, and Hopp 1982), (Flynn 1987), (Flynn and Jacobs 1986), (Flynn and Jacobs 1987), (Suresh and Meredith 1994), (Kannan 1997), (Kannan 1998), (Kannan and Ghosh 1995), (Rheault, Drolet, and Abdounour 1995), (Kannan and Ghosh 1996a), (Kannan and Ghosh 1996b), (Vakharia, Moily, and Huang 1999), (Subash, Nandurkar, and Thomas 2000) i (Ko and Egbelu 2003). Virtuelne proizvodne ćelije su u mnogim istraživanjima prikazane kao deo strukture sistema za planiranje i upravljanje proizvodnjom kao što je navedeno u tabeli 3. Prema razvijenim modelima planiranja i upravljanja u doktorskoj disertaciji virtuelne proizvodne ćelije se vezuju za određene radne naloge grupa predmeta rada i traju dok traje proizvodnja u određenoj fazi obrade ili montaže, odnosno određena konfiguracija virtuelne proizvodne ćelije traje vremenski period P . Struktura virtuelne proizvodne ćelije je kratkoročna i ne mora se ponoviti u okviru iste faze obrade ili montaže u narednom periodu. Jedna porudžbina može da uzrokuje kreiranje jedne ili više grupa predmeta rada, takođe i jedna grupa predmeta rada može da odgovara jednoj ili više primljenih porudžbina. Rezultati istraživanja pokazuju da je moguće realizovati proizvodnju vezujući virtuelne proizvodne ćelije za grupe predmeta rada umesto za svaku pojedinačnu porudžbinu kao što je Drolet prikazao u svojoj doktorskoj disertaciji (Drolet 1989). Rezultati istraživanja pokazuju da se virtuelne proizvodne ćelije mogu planirati u okviru svake faze obrade ili montaže, za razliku od istraživanja objavljenog u radu (Vakharia, Moily, and Huang 1999) gde se organizacija proizvodnje putem virtuelnih proizvodnih ćelija planira na način da se virtuelne proizvodne ćelije primenjuju samo u određenoj fazi procesa proizvodnje gde postoji potreba za deljenjem resursa između grupa predmeta rada, dok se ostale faze obrade realizuju primenom klasičnih proizvodnih ćelija. Postavljeni modeli planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama omogućuju rekonfiguraciju ćelija usled analize opterećenja tehnoloških sistema kao i u radu (Saad, Baykasoglu, and Gindy 2002). Međutim pored opterećenja tehnoloških sistema u doktorskoj disertaciji se u razmatranje uzimaju i mogućnost realizacije terminskih planova proizvodnje putem virtuelnih proizvodnih ćelija.

Primeri primene sistema upravljanja periodičnim serijama su brojni i dati su u brojnim literaturnim izvorima poput (Whybark 1984), (Slomp 1993), (Burbidge 1994), (Borgen 1996), (Burbidge 1996) (Riezebos 2001), (Teixeira Junior, Fernandes, and Pereira 2006), (Silva and Fernandes 2008), (Severino et al. 2010) i (Fernandes et al. 2012). Rezultati sprovedenog istraživanja u doktorskoj disertaciji pokazuju da je sistem upravljanja

periodičnim serijama moguće primeniti i u proizvodnji pločastog nameštaja kao i u proizvodnji priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema.

U doktorskoj disertaciji, kao osnovni parametri modela planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama, su definisani dužina perioda u okviru kojeg se izvršavaju radni nalozi i broj faza obrade ili montaže. Istraživanje u obe studije slučaja prati tehnološke postupke za definisanje faza obrade. Pristup je sličan kao u knjizi (Burbidge 1989), odnosno prilikom definisanja faze obrade sagledavaju se operacije rada koje su međusobno povezane i koje se izvršavaju zajedno kako bi se napravio odgovarajući predmet rada. Izbor određenih operacija rada je nezavistan od izbora tehnoloških sistema putem kojih se one realizuju jer ne postoji fizičko grupisanje tehnoloških sistema u pogonu već samo logičko odnosno virtuelno. Određivanje dužine perioda trajanja faza obrade ili montaže u sprovedenom istraživanju, a prema definisanim modelima, zahteva poređenje početno zadate dužine perioda sa opterećenjem tehnoloških sistema za grupe predmeta rada i sa dužinom vremena trajanja proizvodnje u određenoj fazi obrade ili montaže. U slučaju da postavljeni uslovi nisu zadovoljeni moguće je izvršiti rekonfiguraciju virtuelnih proizvodnih ćelija, promeniti postupak prelaska grupa predmeta rada sa operacije na operaciju ili povećati dužinu trajanja perioda. Pristup određivanju dužine perioda P koji je definisan u doktorskoj disertaciji se razlikuje u odnosu na većinu ostalih objavljenih istraživanja iz razloga što se nijedno od prethodno objavljenih istraživanja nije bavilo parametrima sistema upravljanja periodičnim serijama za slučaj kada se proizvodnja realizuje primenom virtuelnih proizvodnih ćelija. Uopšte mali broj istraživanja se bavio definisanjem formalnog metoda za određivanje dužine perioda. U radu (Kaku and Krajewski 1995) autori određuju dužina perioda P u odnosu na troškove proizvodnje (troškovi držanja zaliha, operativni troškovi itd.). Proizvodnja putem klasičnih proizvodnih ćelija ne omogućuje fleksibilnost u pogledu ispunjenja promenljivih zahteva kupaca te troškovi proizvodnje rastu sa povećanjem varijantnosti porudžbina kupaca. Autori predlažu držanje rezervnih zaliha kako bi se odgovorilo na promenljive zahteve kupaca i definišu dužinu perioda koja bi minimizovala ukupne godišnje troškove. Sličan pristup je dat i u radu (Rachamadugu and Tu 1997). U doktorskoj disertaciji (Riezebos 2001) autor u odluku o dužini perioda uključuje vreme trajanja ciklusa proizvodnje i mogućnost obrade predmeta rada u partijama. U objavljenom istraživanju se takođe

razmatra i dužina perioda sa aspekta troškova pripremno-završnih operacija i troškova držanja zaliha.

U odnosu na modele definisane u radovima (Kaku and Krajewski 1995) i (Rachamadugu and Tu 1997), postavljeni modeli u doktorskoj disertaciji razmatraju opterećenja tehnoloških sistema i dužine terminskih planova prilikom proizvodnje grupa predmeta rada, radi određivanja dužine perioda. Umesto držanja rezervnih zaliha kako predlažu Kaku i Krajewski (Kaku and Krajewski 1995), problemi koji nastaju u proizvodnom sistemu sa povećanjem varijantnosti porudžbina kupaca se nastoje prevazići kreiranim virtuelnim proizvodnim ćelijama. Pristup definisan u doktorskoj disertaciji uključuje i vreme trajanja ciklusa proizvodnje i proizvodnju predmeta rada odnosno grupa predmeta rada u partijama, kao i u doktorskoj disertaciji Riezebosa (Riezebos 2001), međutim upravo zbog virtuelnog (logičkog) a ne fizičkog grupisanja tehnoloških sistema je omogućena veća fleksibilnost u pogledu rekonfiguracije proizvodnih ćelija prilikom provere uslova postavljenih za period P. Modeli i istraživanje u doktorskoj disertaciji ne uzimaju u razmatranje troškove pripremno-završnih operacija i troškove držanja zaliha. U odnosu na prethodna istraživanja, rezultati sprovedenih eksperimenata u obe studije slučaja u doktorskoj disertaciji pokazuju da se prilikom donošenja odluke o dužini perioda i broja i sadržaja obradnih ili montažnih faza mora razmotriti i međusobni odnos tri parametra:

- vremena potrebnog za proizvodnju grupa predmeta rada;
- iskorišćenosti tehnoloških sistema i
- kompleksnosti planiranja i upravljanja procesima rada.

Navedeni parametri se mogu promeniti pod uticajem promene konfiguracije virtuelne proizvodne ćelije i promene postupka prelaska grupe predmeta rada sa operacije na operaciju. Navedeni parametri zahtevaju dobru procenu donosioca odluke o izboru konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija i postupka prelaska grupa predmeta rada, jer skraćanje vremena potrebnog za proizvodnju grupa predmeta rada i poboljšanje iskorišćenosti tehnoloških sistema može zahtevati kompleksnije planiranje i upravljanje procesima rada. U prvoj studiji slučaja promena postupka prelaska jedne grupe predmeta rada i rekonfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija omogućuje izvršavanje proizvodnog procesa u okviru zadanog perioda od 4800 minuta, međutim povećava se kompleksnost procesa planiranja i upravljanja proizvodnjom. Redni postupak prelaska ne zadovoljava uslove postavljene za period P odnosno period P bi se morao povećati na 7100 minuta što

bi izazvalo kašnjenje porudžbina kupaca. Rezultati istraživanja prve studije slučaja pokazuju da je najbolji izbor paralelni postupak prelaska jedne grupe predmeta rada i rekonfigurisana jedna virtuelna proizvodna ćelija. Paralelni postupak takođe obezbeđuje i veću iskorišćenost tehnoloških sistema koji ulaze u sastav virtuelne proizvodne ćelije. Kombinovani postupak prelaska jedne grupe predmeta rada obezbeđuje istu iskorišćenost tehnoloških sistema kao i paralelni postupak ali uvećava se kompleksnost procesa planiranja i upravljanja proizvodnjom zbog povećanja broja partija u odnosu na paralelni postupak. U drugoj studiji slučaja sva tri postupka prelaska grupa predmeta rada realizuju proizvodnju u zadatom vremenskom periodu u određenoj fazi obrade, uz značajne izmene početnih konfiguracija virtuelnih proizvodnih ćelija. Kompleksnost procesa planiranja i upravljanja je veća nego u prvoj studiji slučaja jer postoji povećano deljenje istih proizvodnih resursa (tehnoloških sistema) koji pripadaju različitim virtuelnim proizvodnim ćelijama. Za razliku od prve studije slučaja procenat razlike u poboljšanju iskorišćenja tehnoloških sistema koji se dobija prelaskom na paralelni i kombinovani postupak prelaska određenih grupa predmeta rada u obe faze obrade je manji (na jednom tehnološkom sistemu u prvoj fazi obrade je čak i lošiji od iskorišćenja za redni postupak prelaska). Rezultati pokazuju da je za prvu fazu obrade paralelni postupak prelaska najbolji izbor ukoliko se posmatra samo vreme završetka proizvodnje prema terminskom planu. Paralelni postupak omogućuje da se proizvodnja u okviru prve faze obrade završi 1778 minuta ranije nego što je to predviđeno dužinom trajanja faze obrade, ali potrebno je proizvoditi četiri grupe predmeta rada u partijama što povećava kompleksnost procesa planiranja i upravljanja proizvodnjom. Rezultati pokazuju da je za drugu fazu obrade redni postupak prelaska najbolji izbor ukoliko se posmatra samo vreme završetka proizvodnje prema terminskom planu (vreme trajanja proizvodnje je kod paralelnog i kombinovanog postupka prelaska zbog pripremno-završnih vremena veće, odnosno u preduzeću nije prethodno primenjena grupna tehnologija te stoga nije izvršena redukcija pripremno-završnih vremena). Međutim ukoliko se posmatra iskorišćenje tehnoloških sistema, za drugu fazu obrade je bolji izbor paralelni ili kombinovani postupak prelaska s obzirom da se dobija veće iskorišćenje tehnoloških sistema, ali uz povećanu kompleksnost planiranja i upravljanja proizvodnjom. Rezultati sprovedenog istraživanja za prvu studiju slučaja ukazuju na opravdanost odluke da se poveća kompleksnost procesa planiranja i upravljanja proizvodnjom prelaskom na paralelni postupak prelaska, jer se uz vreme završetka proizvodnje obezbeđuje i bolje iskorišćenje tehnoloških sistema, dok je za drugu

studiju slučaja ova odluka kompleksnija jer su razlike između performansi u pogledu skraćanja vremena proizvodnje i iskorišćenja tehnoloških sistema manje.

Na osnovu rezultata istraživanja može se izvesti zaključak da razvijeni modeli u doktorskoj disertaciji obezbeđuju osnovu za planiranje i upravljanje procesima rada. Međutim planske i upravljačke odluke o izboru dužine perioda, broju faza obrade ili montaže, konfiguraciji virtuelnih proizvodnih ćelija, redosledu puštanja radnih naloga i postupku prelaska grupa predmeta rada sa operacije na operaciju se razlikuju od slučaja do slučaja, u zavisnosti od varijantnosti zahteva kupaca, raspoloživosti proizvodnih resursa i karakteristika posmatranog proizvodnog procesa. Rezultati sprovedenih eksperimenata u obe studije slučaja dokazuju postavljene hipoteze, odnosno da se primenom grupne tehnologije mogu projektovati virtuelne proizvodne ćelije uzevši u obzir zahteve za planiranje i upravljanje procesima rada i da je potrebno i moguće definisati modele planiranja i upravljanja procesima rada u virtuelnim proizvodnim ćelijama.

U narednom poglavlju su data zaključna razmatranja mogućnosti primene i značaja razvijenih modela.

VIII Zaključak i pravci daljeg istraživačkog rada

Razvijeni modeli planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama predstavljaju objedinjeni sistem koji svakako može imati svoju primenu u proizvodnji, što je dokazano na šest sprovedenih simulacionih eksperimenata, čime je postignut opšti cilj istraživanja. U odnosu na prethodno sprovedena istraživanja koja se dotiču samo određenog dela procesa planiranja i upravljanja proizvodnjom, kroz razvijene modele kreiran je sveobuhvatan pristup planiranju i upravljanju procesima rada. Naučno su definisani i opisani parametri koji utiču na procese planiranja i upravljanja, definisani su preduslovi i prikazane su mogućnosti primene i razvoja virtuelnih proizvodnih ćelija u okviru proizvodnog sistema, čime je postignut naučni cilj istraživanja. Rezultati istraživanja ukazuju da je moguće organizovati proizvodnju i upravljati procesima rada u okviru virtuelnih proizvodnih ćelija. Rezultati istraživanja iz dve studije slučaja pokazuju da preduzeća primenom razvijenih modela mogu odgovoriti na tržišne zahteve kroz organizovanje proizvodnje na efikasan način, čime je postignut društveni cilj istraživanja. Rezultati istraživanja dovode do zaključka da je potrebno razmotriti odluke koje se odnose na parametre planskog i upravljačkog sistema kao i na konfiguraciju virtuelnih proizvodnih ćelija sa aspekta optimizacije i aspekta kompleksnosti planskog i upravljačkog procesa. Može se izvesti zaključak da optimizacija određenog parametra poput dužine planskog perioda može izazvati promene u konfiguraciji virtuelne proizvodne ćelije i povećati kompleksnost procesa planiranja i upravljanja proizvodnim sistemom, te je na donosiocu odluke da u skladu sa konkretnom situacijom donese kvalitetnu odluku imajući u vidu raspoložive informacije. Kako bi se poboljšao kvalitet planskih i upravljačkih odluka potrebno je dalje istraživanje u oblasti planiranja i upravljanja virtuelnim proizvodnim ćelijama. U tom smislu, pravci daljeg istraživanja obuhvataju:

- istraživanje uticaja konfiguracije virtuelne proizvodne ćelije u odnosu na pojavu vremena čekanja predmeta rada i poboljšanje iskorišćenja tehnoloških sistema;
- istraživanje transportnih vremena i veličine transportnih partija predmeta rada u proizvodnom sistemu organizovanim putem virtuelnih proizvodnih ćelija i upravljanim primenom PBC sistema;
- istraživanje mogućnosti optimizacije veličine partije predmeta rada iz grupe predmeta rada prilikom paralelnog i kombinovanog načina prelaska;

- istraživanje mogućnosti optimizacije terminskog plana proizvodnje za virtuelne proizvodne ćelije;
- istraživanje uticaja razvijenih modela na učesnike u procesima rada i
- istraživanje primene metoda veštačke inteligencije (na primer genetskih algoritama) na skraćenje vremena perioda P.

Svaki proizvodni sistem posluje u različitim tržišnim uslovima što uzrokuje i različite mogućnosti i ograničenja u okviru proizvodnog procesa. Razvijeni modeli predstavljaju osnovnu podlogu za planiranje i upravljanje procesima rada i mogu i moraju se prilagođavati datom stanju konkretnog proizvodnog sistema, kako bi se obezbedila potrebna fleksibilnost u pogledu realizacije porudžbina kupaca i potrebna efikasnost proizvodnog procesa.

IX Literatura

- Altom, Robert J. 1978. *Costs and Savings of Group Technology*. Dearborn.
- Arthanari, T.S., and Yadolah Dodge. 1993. *Mathematical Programming in Statistics*. Wiley-Interscience; 1 edition.
- Banks, Jerry, John Carson, Barry Nelson, and David Nicol. 2005. *Discrete-Event System Simulation*. 4th ed. New Jersey: Pearson Education.
- Baykasoglu, Adil. 2003. "Capability-Based Distributed Layout Approach for Virtual Manufacturing Cells." *International Journal of Production Research* 41 (11). Taylor & Francis: 2597–2618.
- Benders, Jos. 2002. "The Origin of Period Batch Control (PBC)." *International Journal of Production Research* 40 (1). Taylor & Francis: 1–6.
- Benders, Jos, and Jan Riezebos. 2002. "Period Batch Control: Classic, Not Outdated." *Production Planning & Control* 13 (6). Taylor & Francis: 497–506.
- Berkley, B.J. 1992. "A Review of the Kanban Production Control Research Literature." *Production and Operations Management* 1 (4): 393–411.
- Borgen, E. 1996. "Production Management Principles in Newspaper Pre-Press Production." *Production Planning & Control* 7 (1). Taylor & Francis: 96–98.
- Burbidge, John L. 1962. *The Principles of Production Control*. Plymouth: MacDonald & Evans.
- . 1971. "Production Flow Analysis." *Production Engineer* 50 (4.5): 139–52.
- . 1979. *Group Technology in the Engineering Industry*. London: Mechanical Engineering Publications Ltd.
- . 1983. "Five Golden Rules to Avoid Bankruptcy." *Production Engineer* 62 (10): 13–14.
- . 1985. "Production Planning and Control." *Computers in Industry* 6 (6): 477–87.
- . 1988. "Operation Scheduling with GT and PBC." *International Journal of Production Research* 26 (3). Taylor & Francis: 429–42.
- . 1989. *Production Flow Analysis For Planning Group Technology*. Oxford: Clarendon Press.
- . 1990. "Production Control: A Universal Conceptual Framework." *Production Planning & Control* 1 (1). Taylor & Francis: 3–16.

- . 1994. “The Use of Period Batch Control (PBC) in the Implosive Industries.” *Production Planning & Control* 5 (1). Taylor & Francis: 97–102.
- . 1996. *Period Batch Control*. Oxford: Oxford University Press.
- Burbidge, John L., and John Halsall. 1994. “Group Technology and Growth at Shalibane.” *Production Planning & Control* 5 (2). Taylor & Francis: 213–18.
- Cecelja, Franjo. 2002. *Manufacturing Information and Data Systems*. 1st ed. London: Penton Press.
- Chan, Felix T.S., and Rahul Swarnkar. 2006. “Ant Colony Optimization Approach to a Fuzzy Goal Programming Model for a Machine Tool Selection and Operation Allocation Problem in an FMS.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 22 (4): 353–62.
- Chen, James C., Cheng-Chun Wu, Chia-Wen Chen, and Kou-Huang Chen. 2012. “Flexible Job Shop Scheduling with Parallel Machines Using Genetic Algorithm and Grouping Genetic Algorithm.” *Expert Systems with Applications* 39 (11): 10016–21.
- Darrow, William P., and Jatinder N.D. Gupta. 1989. “Integrating Group Technology and MRP Systems through Lot Sizing and Scheduling.” *Computers & Industrial Engineering* 16 (2): 287–96.
- Dijkstra, Edsger Wybe. 1959. “A Note on Two Problems in Connexion with Graphs.” *Numerische Mathematik* 1 (1): 269–71.
- Dorigo, Marco, Vittorio Maniezzo, and Alberto Colorni. 1996. “Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents.” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B, Cybernetics: A Publication of the IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society* 26 (1). IEEE: 29–41.
- Drolet, Jocelyn Rene. 1989. “Scheduling Virtual Cellular Manufacturing Systems”. Purdue University.
- Drolet, Jocelyn Rene, Georges Abdounour, and Martin Rheault. 1996. “The Cellular Manufacturing Evolution.” *Computers & Industrial Engineering* 31 (1-2): 139–42.
- Fernandes, Flavio Cesar Faria, Eduardo Gracia, Fábio Molina da Silva, and Moacir Godinho Filho. 2012. “Proposal of a Method to Achieve Responsive Manufacturing in the Footwear Industry: Implementation and Assessment through Research-Action.” *Gestão & Produção* 19 (3). Universidade Federal de São Carlos: 509–29.
- Flynn, Barbara B. 1987. “Repetitive Lots: The Use of a Sequence-Dependent Set-up Time Scheduling Procedure in Group Technology and Traditional Shops.” *Journal of Operations Management* 7 (1-2): 203–16.
- Flynn, Barbara B., and Robert F. Jacobs. 1986. “A Simulation Comparison of Group Technology with Traditional Job Shop Manufacturing.” *International Journal of Production Research* 24 (5). Taylor & Francis: 1171–92.

- . 1987. “An Experimental Comparison of Cellular (Group Technology) Layout with Process Layout.” *Decision Sciences* 18 (4): 562–81.
- Fung, Richard Y. K., Feng Liang, Zhibin Jiang, and T. N. Wong. 2006. “A Multi-Stage Methodology for Virtual Cell Formation Oriented Agile Manufacturing.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 36 (7-8): 798–810.
- Gravel, Marc, and Wilson L. Price. 1988. “Using the Kanban in a Job Shop Environment.” *International Journal of Production Research* 26 (6). Taylor & Francis: 1105–18.
- Gu, Jinwei, Manzhan Gu, Cuiwen Cao, and Xingsheng Gu. 2010. “A Novel Competitive Co-Evolutionary Quantum Genetic Algorithm for Stochastic Job Shop Scheduling Problem.” *Computers & Operations Research* 37 (5): 927–37.
- Ham, Inyong, Katsundo Hitomi, and Teruhiko Yoshida. 1985. *Group Technology: Applications to Production Management*. Springer; 1 edition.
- Hamedi, Maryam, G. R. Esmailian, Napsiah Ismail, and M. K. A. Ariffin. 2012a. “A Survey on Formation of Virtual Cellular Manufacturing Systems (VCMSs) and Related Issues.” *Scientific Research and Essays* 7 (40). Academic Journals: 3316–28.
- Hamedi, Maryam, G.R. Esmailian, Napsiah Ismail, and M.K.A. Ariffin. 2012b. “Capability-Based Virtual Cellular Manufacturing Systems Formation in Dual-Resource Constrained Settings Using Tabu Search.” *Computers & Industrial Engineering* 62 (4): 953–71.
- Harrison, David K., and David J. Petty. 2002. *Systems for Planning and Control in Manufacturing*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Hirano, Hiroyuki. 2009. *JIT Implementation Manual -- The Complete Guide to Just-In-Time Manufacturing: Volume 3 -- Flow Manufacturing -- Multi-Process Operations and Kanban*. Productivity Press; 2 edition.
- Holland, John H. 1992. *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. Cambridge: MIT Press.
- Hopp, Wallace J., and Mark L. Spearman. 2000. *Factory Physics*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Hyer, Nancy Lee, and Karen A. Brown. 1999. “The Discipline of Real Cells.” *Journal of Operations Management* 17 (5): 557–74. doi:10.1016/S0272-6963(99)00003-0.
- Hyer, Nancy Lee, and Urban Wemmerlov. 1982. “A Framework for Production Planning and Control of Cellular Manufacturing.” *The Journal for the American Institute for Decision Sciences* 13 (4): 681–701.
- . 2001. *Reorganizing the Factory: Competing Through Cellular Manufacturing*. Productivity Press; 1 edition.

- Irani, S. A., T. M. Cavalier, and P. H. Cohen. 1993. "Virtual Manufacturing Cells: Exploiting Layout Design and Intercell Flows for the Machine Sharing Problem." *International Journal of Production Research* 31 (4). Taylor & Francis: 791–810. doi:10.1080/00207549308956757.
- Irani, S. A., S. Subramanian, and Y. S. Allam. 1999. *Handbook of Cellular Manufacturing Systems [Hardcover]*. Wiley-Interscience; 1 edition.
- Kaku, B. K., and L. J. Krajewski. 1995. "Period Batch Control in Group Technology." *International Journal of Production Research* 33 (1). Taylor & Francis: 79–99.
- Kannan, Vijay R. 1997. "A Simulation Analysis of the Impact of Family Configuration on Virtual Cellular Manufacturing." *Production Planning & Control* 8 (1). Taylor & Francis: 14–24.
- . 1998. "Analysing the Trade-off between Efficiency and Flexibility in Cellular Manufacturing Systems." *Production Planning & Control* 9 (6). Taylor & Francis: 572–79.
- Kannan, Vijay R., and Soumen Ghosh. 1995. "Using Dynamic Cellular Manufacturing to Simplify Scheduling in Cell Based Production Systems." *Omega* 23 (4): 443–52.
- . 1996a. "Cellular Manufacturing Using Virtual Cells." *International Journal of Operations & Production Management* 16 (5). MCB UP Ltd: 99–112.
- . 1996b. "A Virtual Cellular Manufacturing Approach to Batch Production." *Decision Sciences* 27 (3): 519–39.
- Kelton, David W., Randall Sadowski, and Nancy Zupick. 2009. *Simulation with Arena*. 5th ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 5 edition.
- Kesen, Saadettin Erhan, Sanchoy K. Das, and Zulal Gungor. 2009. "A Mixed Integer Programming Formulation for Scheduling of Virtual Manufacturing Cells (VMCs)." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 47 (5-8): 665–78.
- Kesen, Saadettin Erhan, Sanchoy K. Das, and Zülal Güngör. 2010. "A Genetic Algorithm Based Heuristic for Scheduling of Virtual Manufacturing Cells (VMCs)." *Computers & Operations Research* 37 (6): 1148–56.
- Kesen, Saadettin Erhan, M. Duran Toksari, Zülal Güngör, and Ertan Güner. 2009. "Analyzing the Behaviors of Virtual Cells (VCs) and Traditional Manufacturing Systems: Ant Colony Optimization (ACO)-Based Metamodels." *Computers & Operations Research* 36 (7): 2275–85.
- Keskinturk, Timur, Mehmet B. Yildirim, and Mehmet Barut. 2012. "An Ant Colony Optimization Algorithm for Load Balancing in Parallel Machines with Sequence-Dependent Setup Times." *Computers & Operations Research* 39 (6): 1225–35.

- Khilwani, Nitesh, Berna H. Ulutas, A. Attila Islier, and M. K. Tiwari. 2009. "A Methodology to Design Virtual Cellular Manufacturing Systems." *Journal of Intelligent Manufacturing* 22 (4): 533–44.
- Kimura, Osamu, and Hirosuke Terada. 1981. "Design and Analysis of Pull System, a Method of Multi-Stage Production Control." *International Journal of Production Research* 19 (3). Taylor & Francis: 241–53.
- King, James R. 1980. "Machine-Component Grouping in Production Flow Analysis: An Approach Using a Rank Order Clustering Algorithm." *International Journal of Production Research* 18 (2). Taylor & Francis: 213–32.
- Ko, Kuo-Cheng, and Pius J. Egbelu. 2003. "Virtual Cell Formation." *International Journal of Production Research* 41 (11). Taylor & Francis: 2365–89.
- Krieg, Georg N. 2003. "Kanban-Controlled Manufacturing Systems". Catholic University of Eichstaett-Ingolstadt.
- Kühling, Martin. 1998. *Virtuelle Fertigungsinseln Für Produktionsbereiche Der Schmiedeindustrie*. Hagen.
- Kusiak, Andrew. 1990. *Intelligent Manufacturing Systems*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Kusiak, Andrew, and Wing Chow. 1987a. "An Efficient Cluster Identification Algorithm." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 17 (4). IEEE: 696–99.
- Kusiak, Andrew, and Wing S. Chow. 1987b. "Efficient Solving of the Group Technology Problem." *Journal of Manufacturing Systems* 6 (2): 117–24.
- Kusiak, Andrew, Anthony Vannelli, and K. Ravi Kumar. 1986. "Clustering Analysis: Models and Algorithms." *Control and Cybernetics* 15 (2): 139–54.
- Lee, Richard C.T. 1981. "Clustering Analysis and Its Applications." In *Advances in Information Systems Science*, 169–292. Boston, MA: Springer US.
- Liao, Ching-Jong, Yu-Lun Tsai, and Chien-Wen Chao. 2011. "An Ant Colony Optimization Algorithm for Setup Coordination in a Two-Stage Production System." *Applied Soft Computing* 11 (8): 4521–29.
- Mahdavi, Iraj, Amin Aalaei, Mohammad Mahdi Paydar, and Maghsud Solimanpur. 2009. "Production Planning and Cell Formation in Dynamic Virtual Cellular Manufacturing Systems with Worker Flexibility." In *2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering*, 663–67. IEEE.
- Mak, K. L., J. S. K. Lau, and X. X. Wang. 2005. "A Genetic Scheduling Methodology for Virtual Cellular Manufacturing Systems: An Industrial Application." *International Journal of Production Research* 43 (12). Taylor & Francis: 2423–50.

- Mak, K. L., P. Peng, X. X. Wang, and T. L. Lau. 2007. "An Ant Colony Optimization Algorithm for Scheduling Virtual Cellular Manufacturing Systems." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 20 (6). Taylor & Francis: 524–37.
- Mak, K.L., and X.X. Wang. 2002. "Production Scheduling and Cell Formation for Virtual Cellular Manufacturing Systems." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 20 (2): 144–52.
- McAuley, John. 1972. "Machine Grouping for Efficient Production." *Production Engineer* 51 (2): 53–57.
- McCormick, William T., Paul J. Schweitzer, and Thomas W. White. 1972. "Problem Decomposition and Data Reorganization by a Clustering Technique." *Operations Research* 20 (5). INFORMS: 993–1009.
- McLean, C. R., H. M. Bloom, and T. H. Hopp. 1982. "The Virtual Manufacturing Cell." In *Proceedings of Fourth IFAC/IFIP Conference on Information Control Problems in Manufacturing Technology*, 105–11.
- Mertins, K., R. Friedland, and M. Rabe. 2000. "Capacity Assignment of Virtual Manufacturing Cells by Applying Lot Size Harmonization." *International Journal of Production Research* 38 (17). Taylor & Francis: 4385–91.
- Montreuil, Benoît, Jocelyn Rene Drolet, and Pierre Lefrancois. 1992. "The Design and Management of Virtual Cellular Manufacturing Systems." In *Proceedings of American Production & Inventory Control Society Conference*, 410–14. Montreal.
- Moodie, C. L., Jocelyn Rene Drolet, Y. C. Ho, and G.M.H. Warren. 1994. "Cell Design Strategies for Efficient Material Handling." In *Material Flow Systems in Manufacturing*, edited by J. M. A. Tanchoco, 76–101. Springer US.
- New, Colin C. 1977a. *Managing the Manufacture of Complex Products:- Co-Ordinating Multi-Component Assembly*. 1st ed. London: Random House Business Books.
- . 1977b. "MRP and GT, New Strategy for Component Production." *Production and Inventory Management* 3rd Quarte: 50–62.
- Nomden, Gert, and Jannes Slomp. 2003. "The Operation of Virtual Manufacturing Cells in Various Physical Layout Situations." In *Proceedings GT/CM World Symposium*, 255–60. Columbus.
- Nomden, Gert, Jannes Slomp, and Nallan C. Suresh. 2005. "Virtual Manufacturing Cells: A Taxonomy of Past Research and Identification of Future Research Issues." *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 17 (2): 71–92.
- Nomden, Gert, and Durk-Jouke van der Zee. 2008. "Virtual Cellular Manufacturing: Configuring Routing Flexibility." *International Journal of Production Economics* 112 (1): 439–51.

- Ohno, Taiichi. 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Onwubolu, Godfrey C., and Michael Mutingi. 2001. "A Genetic Algorithm Approach to Cellular Manufacturing Systems." *Computers & Industrial Engineering* 39 (1-2): 125–44.
- Orlicky, Joseph A. 1974. *Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*. McGraw-Hill, Inc.
- Prince, J, and J.M Kay. 2003. "Combining Lean and Agile Characteristics: Creation of Virtual Groups by Enhanced Production Flow Analysis." *International Journal of Production Economics* 85 (3): 305–18.
- Rachamadugu, Ram, and Qiang Tu. 1997. "Period Batch Control for Group technology—An Improved Procedure." *Computers & Industrial Engineering* 32 (1): 1–7.
- Ratchev, Svetan M. 2001. "Concurrent Process and Facility Prototyping for Formation of Virtual Manufacturing Cells." *Integrated Manufacturing Systems* 12 (4). MCB UP Ltd: 306–15.
- Rezazadeh, H., M. Ghazanfari, S. J. Sadjadi, M. Aryanezhad, and A. Makui. 2009. "Linear Programming Embedded Particle Swarm Optimization for Solving an Extended Model of Dynamic Virtual Cellular Manufacturing Systems." *Journal of Applied Research and Technology* 7 (1): 83–108.
- Rezazadeh, H., R. Mahini, and M. Zarei. 2011. "Solving a Dynamic Virtual Cell Formation Problem by Linear Programming Embedded Particle Swarm Optimization Algorithm." *Applied Soft Computing* 11 (3): 3160–69.
- Rheault, Martin, Jocelyn R. Drolet, and Georges Abdounour. 1995. "Physically Reconfigurable Virtual Cells: A Dynamic Model for a Highly Dynamic Environment." *Computers & Industrial Engineering* 29 (1-4): 221–25.
- Ribeiro, José Francisco Ferreira. 2010. "Manufacturing Cells Formation Based on Graph Coloring." *Journal of Service Science and Management* 03 (04). Scientific Research Publishing: 494–500.
- Riezebos, Jan. 2001. "Design of a Period Batch Control Planning System for Cellular Manufacturing". University of Groningen.
- Rossi, Andrea, and Gino Dini. 2007. "Flexible Job-Shop Scheduling with Routing Flexibility and Separable Setup Times Using Ant Colony Optimisation Method." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 23 (5): 503–16.
- Saad, Sameh M, Adil Baykasoglu, and Nabil N. Z Gindy. 2002. "An Integrated Framework for Reconfiguration of Cellular Manufacturing Systems Using Virtual Cells." *Production Planning & Control* 13 (4). Taylor & Francis: 381–93.

- Sarker, B R, and Z Li. 2001. "Job Routing and Operations Scheduling: A Network-Based Virtual Cell Formation Approach." *Journal of the Operational Research Society* 52 (6). Nature Publishing Group: 673–81.
- Sato, N., J. Ignizio, and I. Ham. 1978. "Group Technology and Material Requirements Planning: An Integrated Methodology for Production Planning." *CIRP Annals* 27 (1): 471–73.
- Schroeder, Roger G. 1993. *Operations Management: Decision Making in the Operations Function*. 4th ed. McGraw-Hill College.
- Seifoddini, Hamid, and Philip M. Wolfe. 1986. "Application of the Similarity Coefficient Method in Group Technology." *IIE Transactions* 18 (3). Taylor & Francis: 271–77.
- Severino, Maico Roris, Muris Lage Junior, Luciano Campanini, Alyne de Andrade Guimarães, Moacir Godinho Filho, and Michelle Aguilera. 2010. "Lead Time Reduction in a Capital Goods Company by Means of the Implementation of Period Batch Control System." *Produção* 20 (4). ABEPRO: 612–25.
- Shah, Rachna, and Peter T. Ward. 2003. "Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance." *Journal of Operations Management* 21 (2): 129–49.
- Silva, Fábio Molina da, and Flávio César Faria Fernandes. 2008. "Proposal of a Production Control System for Shoemakers Operating in a Resources-to-Order or Make-to-Order Product Market Environment." *Gestão & Produção* 15 (3). Universidade Federal de São Carlos: 523–38.
- Slomp, Jannes. 1993. "Production Control for Flexible Manufacturing Systems: An Application-Oriented Approach". University of Twente.
- Slomp, Jannes, Boppana V. Chowdary, and Nallan C. Suresh. 2005. "Design of Virtual Manufacturing Cells: A Mathematical Programming Approach." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 21 (3): 273–88.
- Sohal, Amrik, and Keith Howard. 1987. "Trends in Materials Management." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 17 (5). MCB UP Ltd: 3–41.
- Solimanpur, M., P. Vrat, and R. Shankar. 2004. "Ant Colony Optimization Algorithm to the Inter-Cell Layout Problem in Cellular Manufacturing." *European Journal of Operational Research* 157 (3): 592–606.
- Steele, D. C., and Manoj K. Malhotra. 1997. "Factors Affecting Performance of Period Batch Control Systems Incellular Manufacturing." *International Journal of Production Research* 35 (2). Taylor & Francis: 421–46.
- Subash, Babu A., K.N. Nandurkar, and Austin Thomas. 2000. "Development of Virtual Cellular Manufacturing Systems for SMEs." *Logistics Information Management* 13 (4). MCB UP Ltd: 228–42.

- Suresh, Nallan C. 1979. "Optimizing Intermittent Production Systems Through Group Technology and an MRP System." *Production and Inventory Management* 4th Quarte: 76–84.
- Suresh, Nallan C., and Jack R. Meredith. 1994. "Coping with the Loss of Pooling Synergy in Cellular Manufacturing Systems." *Management Science* 40 (4). INFORMS: 466–83.
- Suresh, Nallan C., and Jannes Slomp. 2005. "Performance Comparison of Virtual Cellular Manufacturing with Functional and Cellular Layouts in DRC Settings." *International Journal of Production Research* 43 (5). Taylor & Francis: 945–79.
- Suzić, Nikola, Branislav Stevanov, Ilija Ćosić, Zoran Anišić, and Nemanja Sremčev. 2012. "Customizing Products through Application of Group Technology: A Case Study of Furniture Manufacturing." *Strojniški vestnik=Journal of Mechanical Engineering* 58 (12): 724–31.
- Teixeira Junior, Rodolfo Florence, Flavio Cesar Faria Fernandes, and Neocles Alves Pereira. 2006. "Decision Support System for Production Scheduling in Steel Casting Foundries." *Gestão & Produção* 13 (2). Universidade Federal de São Carlos: 205–21.
- Thomalla, C.S. 2000. "Formation of Virtual Cells in Manufacturing Systems." In *Proceedings of Group Technology/Cellular Manufacturing World Symposium*, 13–16. San Juan.
- Vakharia, Asoo J., Jaya P. Moily, and Yuanshu Huang. 1999. "Evaluating Virtual Cells and Multistage Flow Shops: An Analytical Approach." *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 11 (3). Kluwer Academic Publishers: 291–314.
- Wallace, Clark, Walter Nicholas Polakov, and Frank W. Trabold. 1922. *The Gantt Chart: A Working Tool of Management*. 1st ed. New York: Ronald Press Company.
- Wemmerlov, Urban, and Nancy Lee Hyer. 1989. "Cellular Manufacturing in the U.S. Industry: A Survey of Users." *International Journal of Production Research* 27 (9). Taylor & Francis: 1511–30.
- Wemmerlov, Urban, and Danny J. Johnson. 2000. "Empirical Findings on Manufacturing Cell Design." *International Journal of Production Research* 38 (3). Taylor & Francis: 481–507.
- Whybark, D. C. 1984. "Production Planning and Control at Kumera Oy." *Production and Inventory Management* 25 (1): 71–82.
- Witte, J. De. 1980. "The Use of Similarity Coefficients in Production Flow Analysis." *International Journal of Production Research* 18 (4). Taylor & Francis: 503–14.
- Xambre, A. R., and P. M. Vilarinho. 2007. "Virtual Manufacturing Cell Formation Problem (VMCFP) in a Distributed Layout." In *ICPRI9-19th International Conference on Production Research*. Valparaiso.

- Yang, Kum Khiong, and Robert F. Jacobs. 1992. "Comparison of Make-to-Order Job Shops with Different Machine Layouts and Production Control Systems." *International Journal of Production Research* 30 (6). Taylor & Francis Group: 1269–83.
- Yin, Peng-Yeng, and Jing-Yu Wang. 2006. "Ant Colony Optimization for the Nonlinear Resource Allocation Problem." *Applied Mathematics and Computation* 174 (2): 1438–53.
- Zelenović, Dragutin. 2003. *Projektovanje Proizvodnih Sistema*. Novi Sad: FTN izdavaštvo.
- . 2004. *Upravljanje Proizvodnim Sistemima*. 2nd ed. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- . 2005. *Tehnologija Organizacije Industrijskih Sistema*. 2nd ed. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- Zelenović, Dragutin, Ilija Ćosić, M. Šormaz, and Z. Šišarica. 1986. *APOPS-08 Automatizovani Postupak Za Oblikovanje Proizvodnih Struktura*. Novi Sad: FTN OOUR Institut za industrijske sisteme.
- Zelenović, Dragutin, and Zdravko Tešić. 1988. "Period Batch Control and Group Technology." *International Journal of Production Research* 26 (3). Taylor & Francis: 539–52.

Prilozi

Prilozi obuhvataju programski kod za kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija (prilog P1) i izveštaje simulacionih eksperimenata (prilozi P2, P3, P4, P5, P6 i P7). U simulacionim izveštajima studija slučaja proizvodnje pločastog nameštaja je označena sa studija slučaja 1, a studija slučaja proizvodnje priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema je označena sa studija slučaja 2.

Izveštaji simulacionih eksperimenata obuhvataju rezultate za šest eksperimenata:

- studija slučaja 1 – redni način prelaska predmeta rada (P=7100, N=1);
- studija slučaja 1 – paralelni način prelaska predmeta rada (P=4800, N=1);
- studija slučaja 1 – kombinovani način prelaska predmeta rada (P=4800, N=1);
- studija slučaja 2 – redni način prelaska predmeta rada (P=9600, N=2);
- studija slučaja 2 – paralelni način prelaska predmeta rada (P=9600, N=2) i
- studija slučaja 2 – kombinovani način prelaska predmeta rada (P=9600, N=2).

Zaglavljaja tabela izveštaja simulacionih eksperimenata su na engleskom jeziku.

P1. Programski kod za kreiranje virtuelnih proizvodnih ćelija

Početni korak programa jeste kreiranja grafa, nakon čega se dodaju čvorovi grafa koji predstavljaju tehnološke sisteme i grane grafa sa težinskim koeficijentima koji predstavljaju razdaljinu između tehnoloških sistema. Čvorovi grafa se povezuju jedino ukoliko je to predviđeno datim tehnološkim postupkom. Tehnološki sistemi, postupci i međusobna udaljenost tehnoloških sistema su dati u poglavlju 6. Sa oznakom # označeni su redovi koji predstavljaju komentare u programskom kodu koji dodatno objašnjavaju programski kod i koji se ne izvršavaju prilikom pokretanja programa. Programski kod je takav da prati u potpunosti istu logiku i komande za sve kreirane virtuelne proizvodne ćelije i ne postoji razlika između dve studije slučaja osim u izmeni broja ili naziva čvorova i grana grafa. Iz tog razloga prikazan je programski kod samo za kreiranje jedne virtuelne proizvodne ćelije iz studije slučaja proizvodnje pločastog nameštaja i jedne virtuelne proizvodne ćelije iz studije slučaja proizvodnje priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema kako bi se izbeglo nepotrebno ponavljanje programskog koda.

Programski kod za kreiranje virtualne proizvodne ćelije u studiji slučaja proizvodnje pločastog nameštaja je dat u nastavku.

```
# naredba za uvoz networkx biblioteke koda
import networkx as nx
# kreiranje grafa
G=nx.MultiDiGraph()
# kreiranje čvorova grafa
G.add_node('M1a')
G.add_node('M1b')
G.add_node('M2a')
G.add_node('M2b')
G.add_node('M3a')
G.add_node('M3b')
G.add_node('M3b')
G.add_node('M4')
G.add_node('M5a')
G.add_node('M5b')
G.add_node('M5c')
G.add_node('M6')
G.add_node('M7')
G.add_node('M8a')
G.add_node('M8b')
G.add_node('M8c')
G.add_node('M9')
G.add_node('M10')
# kreiranje grana grafa
G.add_edge('M1a', 'M2a', weight=12)
G.add_edge('M1a', 'M2b', weight=15)
G.add_edge('M2a', 'M5a', weight=47)
G.add_edge('M2a', 'M5b', weight=50)
G.add_edge('M2a', 'M5c', weight=53)
# atribut weight je 999 kako ne bi alternativne masine bile
uključene u pretragu
G.add_edge('M5a', 'M5b', weight=999)
G.add_edge('M5a', 'M5c', weight=999)
G.add_edge('M8a', 'M8b', weight=999)
G.add_edge('M8a', 'M8c', weight=999)
G.add_edge('M8a', 'M9', weight=999)
G.add_edge('M5a', 'M8a', weight=26)
G.add_edge('M5a', 'M8b', weight=26)
G.add_edge('M5a', 'M8c', weight=26)
G.add_edge('M5b', 'M8a', weight=29)
G.add_edge('M5b', 'M8b', weight=29)
G.add_edge('M5b', 'M8c', weight=29)
G.add_edge('M5c', 'M8a', weight=32)
G.add_edge('M5c', 'M8b', weight=32)
G.add_edge('M5c', 'M8c', weight=32)
# pozivanje algoritma iz biblioteke koda
print nx.dijkstra_path(G, 'M1a', 'M8a')
```

Izvršavanje programskog koda daje kao rezultat niz elemenata ['M1a', 'M2a', 'M5a', 'M8a'] koji ustvari predstavlja jednu virtuelnu proizvodni ćeliju.

Programski kod za kreiranje virtuelne proizvodne ćelije u studiji slučaja proizvodnje priključnih elemenata za potrebe hidrauličkih i pneumatičkih uređaja i sistema je dat u nastavku.

```
# naredba za uvoz networkx biblioteke koda
import networkx as nx
# kreiranje grafa
G=nx.MultiDiGraph()
# kreiranje čvorova grafa
G.add_node('m0a')
G.add_node('m1a')
G.add_node('m1b')
G.add_node('m1c')
G.add_node('m1d')
G.add_node('m1e')
G.add_node('m1f')
G.add_node('m1g')
G.add_node('m1h')
G.add_node('m2a')
G.add_node('m2b')
G.add_node('m2c')
G.add_node('m2d')
G.add_node('m2e')
G.add_node('m2f')
G.add_node('m2g')
G.add_node('m2h')
G.add_node('m2i')
G.add_node('m2j')
G.add_node('m3a')
G.add_node('m3b')
G.add_node('m3c')
G.add_node('m3d')
G.add_node('m3e')
G.add_node('m4a')
G.add_node('m4b')
G.add_node('m4c')
G.add_node('m4d')
G.add_node('m5a')
G.add_node('m5b')
G.add_node('m6a')
G.add_node('m7a')
G.add_node('m7b')
G.add_node('m7c')
G.add_node('m7d')
G.add_node('m7e')
G.add_node('m7f')
```

```
G.add_node('m7g')
G.add_node('m7h')
G.add_node('m7i')
G.add_node('m8a')
G.add_node('m8b')
G.add_node('m8c')
G.add_node('m9a')
G.add_node('m10a')
G.add_node('m10b')
G.add_node('m10c')
G.add_node('m10d')
G.add_node('m11a')
G.add_node('m12a')
G.add_node('m13a')
#kreiranje grana grafa
G.add_edge('m3a', 'm4a', weight=3)
G.add_edge('m3a', 'm4b', weight=6)
G.add_edge('m3a', 'm4c', weight=9)
G.add_edge('m3a', 'm4d', weight=12)
G.add_edge('m3b', 'm4a', weight=6)
G.add_edge('m3b', 'm4b', weight=9)
G.add_edge('m3b', 'm4c', weight=12)
G.add_edge('m3b', 'm4d', weight=15)
G.add_edge('m3c', 'm4a', weight=9)
G.add_edge('m3c', 'm4b', weight=12)
G.add_edge('m3c', 'm4c', weight=15)
G.add_edge('m3c', 'm4d', weight=18)
G.add_edge('m3d', 'm4a', weight=12)
G.add_edge('m3d', 'm4b', weight=15)
G.add_edge('m3d', 'm4c', weight=18)
G.add_edge('m3d', 'm4d', weight=21)
G.add_edge('m3e', 'm4a', weight=15)
G.add_edge('m3e', 'm4b', weight=18)
G.add_edge('m3e', 'm4c', weight=21)
G.add_edge('m3e', 'm4d', weight=24)
G.add_edge('m4a', 'm5a', weight=57)
G.add_edge('m4a', 'm5b', weight=60)
G.add_edge('m4b', 'm5a', weight=60)
G.add_edge('m4b', 'm5b', weight=63)
G.add_edge('m4c', 'm5a', weight=63)
G.add_edge('m4c', 'm5b', weight=66)
G.add_edge('m4d', 'm5a', weight=66)
G.add_edge('m4d', 'm5b', weight=69)
#pozivanje algoritma iz biblioteke koda
print nx.dijkstra_path(G, 'm3a', 'm5a')
```

Izvršavanje programskog koda daje kao rezultat niz elemenata ['m3a', 'm4a', 'm5a'] koji ustvari predstavlja jednu virtuelnu proizvodnu ćeliju.

P2. Studija slučaja 1 – redni postupak prelaska grupa predmeta rada (P=7100, N=1)

Broj replikacija eksperimenta: 100; Vremenske jedinice: Minuti

Tabela 47. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu [minut]

Value Added Time Per Entity						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Grupa_1_Operacija_1_m1b	1629	0	1629	1629	1629	1629
Grupa_1_Operacija_2_m2a	426	0	426	426	426	426
Grupa_1_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	1541	0	1541	1541	1541	1541
Grupa_1_Operacija_4_m8a_m8b_m8c	3190	0	3190	3190	3190	3190
Grupa_1_Operacija_4_m9a	3481	0	3481	3481	3481	3481
Grupa_2_Operacija_1_m1b	503	0	503	503	503	503
Grupa_2_Operacija_2_m5a_m5b_m5c	224	0	224	224	224	224
Grupa_3_Operacija_1_m1a	406	0	406	406	406	406
Grupa_3_Operacija_2_m3a	436	0	436	436	436	436
Grupa_3_Operacija_3_m4a	70	0	70	70	70	70
Grupa_3_Operacija_4_m6a	952	0	952	952	952	952
Grupa_4_Operacija_1_m1b	121	0	121	121	121	121
Grupa_4_Operacija_2_m3a	127	0	127	127	127	127
Grupa_4_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	77	0	77	77	77	77
Grupa_4_Operacija_4_m7a	280	0	280	280	280	280
Grupa_5_Operacija_1_m1a	231	0	231	231	231	231
Grupa_5_Operacija_2_m2a	537	0	537	537	537	537
Grupa_5_Operacija_3_m4a	223	0	223	223	223	223
Grupa_5_Operacija_4_m6a	371	0	371	371	371	371
Grupa_6_Operacija_1_m1a	375	0	375	375	375	375

Tabela 48. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut]

Accumulated Value Added Time				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Grupa_1_Operacija_1_m1b	1629	0	1629	1629
Grupa_1_Operacija_2_m2a	426	0	426	426
Grupa_1_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	4623	0	4623	4623
Grupa_1_Operacija_4_m8a_m8b_m8c	9570	0	9570	9570
Grupa_1_Operacija_4_m9a	3481	0	3481	3481
Grupa_2_Operacija_1_m1b	503	0	503	503
Grupa_2_Operacija_2_m5a_m5b_m5c	672	0	672	672
Grupa_3_Operacija_1_m1a	406	0	406	406
Grupa_3_Operacija_2_m3a	436	0	436	436
Grupa_3_Operacija_3_m4a	70	0	70	70
Grupa_3_Operacija_4_m6a	952	0	952	952
Grupa_4_Operacija_1_m1b	121	0	121	121
Grupa_4_Operacija_2_m3a	127	0	127	127
Grupa_4_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	231	0	231	231
Grupa_4_Operacija_4_m7a	280	0	280	280
Grupa_5_Operacija_1_m1a	231	0	231	231
Grupa_5_Operacija_2_m2a	537	0	537	537
Grupa_5_Operacija_3_m4a	223	0	223	223
Grupa_5_Operacija_4_m6a	371	0	371	371
Grupa_6_Operacija_1_m1a	375	0	375	375

Tabela 49. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period P

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m1a	0,1425	0	0,1425	0,1425
m1b	0,3173	0	0,3173	0,3173
m2a	0,1356	0	0,1356	0,1356
m3a	0,07929577	0	0,07929577	0,07929577
m4a	0,04126761	0	0,04126761	0,04126761
m5a	0,2594	0	0,2594	0,2594
m5b	0,2594	0	0,2594	0,2594
m5c	0,2594	0	0,2594	0,2594
m6a	0,1863	0	0,1863	0,1863
m7a	0,03943662	0	0,03943662	0,03943662
m8a	0,4493	0	0,4493	0,4493
m8b	0,4493	0	0,4493	0,4493
m8c	0,4493	0	0,4493	0,4493
m9a	0,4903	0	0,4903	0,4903

Tabela 50. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]

Tally Statistics						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Grupa 1	7077	0	7077	7077	7077	7077
Grupa 2	3820	0	3820	3820	3820	3820
Grupa 3	1864	0	1864	1864	1864	1864
Grupa 4	4177	0	4177	4177	4177	4177
Grupa 5	2235	0	2235	2235	2235	2235
Grupa 6	1012	0	1012	1012	1012	1012

P3. Studija slučaja 1 – paralelni postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (P=4800, N=1)

Broj replikacija eksperimenta: 100; Vremenske jedinice: Minuti

Tabela 51. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu (vremena za grupu 1 su data po partiji) [minut]

Value Added Time Per Entity						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Grupa_1_Operacija_1_m1b	543	0	543	543	543	543
Grupa_1_Operacija_2_m2a	142	0	142	142	142	142
Grupa_1_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	513	0	513	513	513	513
Grupa_1_Operacija_4_m8a_m8b_m8c	1063	0	1063	1063	1063	1063
Grupa_1_Operacija_4_m9a	1160	0	1160	1160	1160	1160
Grupa_2_Operacija_1_m1b	503	0	503	503	503	503
Grupa_2_Operacija_2_m5a_m5b_m5c	224	0	224	224	224	224
Grupa_3_Operacija_1_m1a	406	0	406	406	406	406
Grupa_3_Operacija_2_m3a	436	0	436	436	436	436
Grupa_3_Operacija_3_m4a	70	0	70	70	70	70
Grupa_3_Operacija_4_m6a	952	0	952	952	952	952
Grupa_4_Operacija_1_m1b	121	0	121	121	121	121
Grupa_4_Operacija_2_m3a	127	0	127	127	127	127
Grupa_4_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	77	0	77	77	77	77
Grupa_4_Operacija_4_m7a	280	0	280	280	280	280
Grupa_5_Operacija_1_m1a	231	0	231	231	231	231
Grupa_5_Operacija_2_m2a	537	0	537	537	537	537
Grupa_5_Operacija_3_m4a	223	0	223	223	223	223
Grupa_5_Operacija_4_m6a	371	0	371	371	371	371
Grupa_6_Operacija_1_m1a	375	0	375	375	375	375

Tabela 52. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut]

Accumulated Value Added Time				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Grupa_1_Operacija_1_m1b	1629	0	1629	1629
Grupa_1_Operacija_2_m2a	426	0	426	426
Grupa_1_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	4617	0	4617	4617
Grupa_1_Operacija_4_m8a_m8b_m8c	9570	0	9570	9570
Grupa_1_Operacija_4_m9a	3481	0	3481	3481
Grupa_2_Operacija_1_m1b	503	0	503	503
Grupa_2_Operacija_2_m5a_m5b_m5c	672	0	672	672
Grupa_3_Operacija_1_m1a	406	0	406	406
Grupa_3_Operacija_2_m3a	436	0	436	436
Grupa_3_Operacija_3_m4a	70	0	70	70
Grupa_3_Operacija_4_m6a	952	0	952	952
Grupa_4_Operacija_1_m1b	121	0	121	121
Grupa_4_Operacija_2_m3a	127	0	127	127
Grupa_4_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	231	0	231	231
Grupa_4_Operacija_4_m7a	280	0	280	280
Grupa_5_Operacija_1_m1a	231	0	231	231
Grupa_5_Operacija_2_m2a	537	0	537	537
Grupa_5_Operacija_3_m4a	223	0	223	223
Grupa_5_Operacija_4_m6a	371	0	371	371
Grupa_6_Operacija_1_m1a	375	0	375	375

Tabela 53. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period P

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m1a	0,2108	0	0,2108	0,2108
m1b	0,4694	0	0,4694	0,4694
m2a	0,2006	0	0,2006	0,2006
m3a	0,1173	0	0,1173	0,1173
m4a	0,06104167	0	0,06104167	0,06104167
m5a	0,3833	0	0,3833	0,3833
m5b	0,3833	0	0,3833	0,3833
m5c	0,3833	0	0,3833	0,3833
m6a	0,2756	0	0,2756	0,2756
m7a	0,05833333	0	0,05833333	0,05833333
m8a	0,6646	0	0,6646	0,6646
m8b	0,6646	0	0,6646	0,6646
m8c	0,6646	0	0,6646	0,6646
m9a	0,7252	0	0,7252	0,7252

Tabela 54. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]

Tally Statistics						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Grupa 1	4679	0	4679	4679	4679	4679
Grupa 2	2508	0	2508	2508	2508	2508
Grupa 3	1864	0	1864	1864	1864	1864
Grupa 4	2865	0	2865	2865	2865	2865
Grupa 5	2902	0	2902	2902	2902	2902
Grupa 6	1012	0	1012	1012	1012	1012

P4. Studija slučaja 1 – kombinovani postupak prelaska grupe predmeta rada 1 i redni postupak prelaska grupe predmeta rada za ostale grupe predmeta rada (P=4800, N=1)

Broj replikacija eksperimenta: 100; Vremenske jedinice: Minuti

Tabela 55. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu (vremena za grupu 1 su data po partiji) [minut]

Value Added Time Per Entity						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Grupa_1_Operacija_1_m1b	77	0	77	77	77	77
Grupa_1_Operacija_2_m2a	20	0	20	20	20	20
Grupa_1_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	73	0	73	73	73	73
Grupa_1_Operacija_4_m8a_m8b_m8c	151	0	151	151	151	152
Grupa_1_Operacija_4_m9a	165	0	165	165	165	165
Grupa_2_Operacija_1_m1b	503	0	503	503	503	503
Grupa_2_Operacija_2_m5a_m5b_m5c	224	0	224	224	224	224
Grupa_3_Operacija_1_m1a	406	0	406	406	406	406
Grupa_3_Operacija_2_m3a	436	0	436	436	436	436
Grupa_3_Operacija_3_m4a	70	0	70	70	70	70
Grupa_3_Operacija_4_m6a	952	0	952	952	952	952
Grupa_4_Operacija_1_m1b	121	0	121	121	121	121
Grupa_4_Operacija_2_m3a	127	0	127	127	127	127
Grupa_4_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	77	0	77	77	77	77
Grupa_4_Operacija_4_m7a	280	0	280	280	280	280
Grupa_5_Operacija_1_m1a	231	0	231	231	231	231
Grupa_5_Operacija_2_m2a	537	0	537	537	537	537
Grupa_5_Operacija_3_m4a	223	0	223	223	223	223
Grupa_5_Operacija_4_m6a	371	0	371	371	371	371
Grupa_6_Operacija_1_m1a	375	0	375	375	375	375

Tabela 56. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut]

Accumulated Value Added Time				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Grupa_1_Operacija_1_m1b	1629	0	1629	1629
Grupa_1_Operacija_2_m2a	426	0	426	426
Grupa_1_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	4623	0	4623	4623
Grupa_1_Operacija_4_m8a_m8b_m8c	9570	0	9570	9570
Grupa_1_Operacija_4_m9a	3481	0	3481	3481
Grupa_2_Operacija_1_m1b	503	0	503	503
Grupa_2_Operacija_2_m5a_m5b_m5c	672	0	672	672
Grupa_3_Operacija_1_m1a	406	0	406	406
Grupa_3_Operacija_2_m3a	436	0	436	436
Grupa_3_Operacija_3_m4a	70	0	70	70
Grupa_3_Operacija_4_m6a	952	0	952	952
Grupa_4_Operacija_1_m1b	121	0	121	121
Grupa_4_Operacija_2_m3a	127	0	127	127
Grupa_4_Operacija_3_m5a_m5b_m5c	231	0	231	231
Grupa_4_Operacija_4_m7a	280	0	280	280
Grupa_5_Operacija_1_m1a	231	0	231	231

Grupa_5_Operacija_2_m2a	537	0	537	537
Grupa_5_Operacija_3_m4a	223	0	223	223
Grupa_5_Operacija_4_m6a	371	0	371	371
Grupa_6_Operacija_1_m1a	375	0	375	375

Tabela 57. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period P

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m1a	0,2108	0	0,2108	0,2108
m1b	0,4694	0	0,4694	0,4694
m2a	0,2006	0	0,2006	0,2006
m3a	0,1173	0	0,1173	0,1173
m4a	0,06104167	0	0,06104167	0,06104167
m5a	0,3837	0	0,3837	0,3837
m5b	0,3837	0	0,3837	0,3837
m5c	0,3837	0	0,3837	0,3837
m6a	0,2756	0	0,2756	0,2756
m7a	0,05833333	0	0,05833333	0,05833333
m8a	0,6646	0	0,6646	0,6646
m8b	0,6646	0	0,6646	0,6646
m8c	0,6646	0	0,6646	0,6646
m9a	0,7252	0	0,7252	0,7252

Tabela 58. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]

Tally Statistics						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Grupa 1	4797	0	4797	4797	4797	4797
Grupa 2	3008	0	3008	3008	3008	3008
Grupa 3	1864	0	1864	1864	1864	1864
Grupa 4	3365	0	3365	3365	3365	3365
Grupa 5	2235	0	2235	2235	2235	2235
Grupa 6	1012	0	1012	1012	1012	1012

P5. Studija slučaja 2 – redni postupak prelaska grupa predmeta rada (P=9600, N=2)

Broj replikacija eksperimenta: 100; Vremenske jedinice: Minuti

Tabela 59. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu [minut]

Value Added Time Per Entity						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Grupa_1_Operacija_1_m3a	2090	0	2090	2090	2090	2090
Grupa_1_Operacija_2_m4a_m4b	1325	0	1325	1325	1325	1325
Grupa_1_Operacija_3_m5a	705	0	705	705	705	705
Grupa_1_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	170	0	170	170	170	170
Grupa_1_Operacija_5_m9a	2360	0	2360	2360	2360	2360
Grupa_1_Operacija_6_m9a	3105	0	3105	3105	3105	3105
Grupa_1_Operacija_7_m12a	272	0	272	272	272	272
Grupa_1_Operacija_8_m13a	1327	0	1327	1327	1327	1327
Grupa_2_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	333	0	333	333	333	333
Grupa_2_Operacija_2_m3a	1585	0	1585	1585	1585	1585
Grupa_2_Operacija_3_m5a	396	0	396	396	396	396
Grupa_2_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	183	0	183	183	183	183
Grupa_2_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	200	0	200	200	200	200
Grupa_2_Operacija_6_m8a	1525	0	1525	1525	1525	1525
Grupa_2_Operacija_7_m8a	1465	0	1465	1465	1465	1465
Grupa_2_Operacija_8_m12a	172	0	172	172	172	172
Grupa_2_Operacija_9_m13a	738	0	738	738	738	738
Grupa_3_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1692	0	1692	1692	1692	1692
Grupa_3_Operacija_2_m1e_m1f	1685	0	1685	1685	1685	1685
Grupa_3_Operacija_3_m5a	1153	0	1153	1153	1153	1153
Grupa_3_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	1260	0	1260	1260	1260	1260
Grupa_3_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	1746	0	1746	1746	1746	1746
Grupa_3_Operacija_6_m12a	243	0	243	243	243	243
Grupa_3_Operacija_7_m13a	1113	0	1113	1113	1113	1113
Grupa_4_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1120	0	1120	1120	1120	1120
Grupa_4_Operacija_2_m1e_m1f	800	0	800	800	800	800
Grupa_4_Operacija_3_m6a	764	0	764	764	764	764
Grupa_4_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	1083	0	1083	1083	1083	1083
Grupa_4_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	1073	0	1073	1073	1073	1073
Grupa_4_Operacija_6_m12a	260	0	260	260	260	260
Grupa_4_Operacija_7_m13a	874	0	874	874	874	874
Grupa_5_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1278	0	1278	1278	1278	1278
Grupa_5_Operacija_2_m1e_m1f	300	0	300	300	300	300
Grupa_5_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	527	0	527	527	527	527
Grupa_5_Operacija_4_m6a	572	0	572	572	572	572
Grupa_5_Operacija_5_m7a_m7b_m7c	718	0	718	718	718	718
Grupa_5_Operacija_6_m7d_m7e_m7f	728	0	728	728	728	728
Grupa_5_Operacija_7_m1a_m1b	250	0	250	250	250	250
Grupa_5_Operacija_8_m11a	110	0	110	110	110	110
Grupa_5_Operacija_9_m12a	118	0	118	118	118	118
Grupa_5_Operacija_10_m13a	662	0	662	662	662	662
Grupa_6_Operacija_1_m0a	3062	0	3062	3062	3062	3062
Grupa_6_Operacija_2_m1e_m1f	512	0	512	512	512	512
Grupa_6_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	4155	0	4155	4155	4155	4155

Grupa_6_Operacija_4_m4a_m4b	2600	0	2600	2600	2600	2600
Grupa_6_Operacija_5_m5a	1748	0	1748	1748	1748	1748
Grupa_6_Operacija_6_m6a	75	0	75	75	75	75
Grupa_6_Operacija_7_m7a_m7b_m7c	1691	0	1691	1691	1691	1691
Grupa_6_Operacija_8_m7d_m7e_m7f	1481	0	1481	1481	1481	1481
Grupa_6_Operacija_9_m1a_m1b	1628	0	1628	1628	1628	1628
Grupa_6_Operacija_10_m10a	1160	0	1160	1160	1160	1160
Grupa_6_Operacija_11_m12a	450	0	450	450	450	450
Grupa_6_Operacija_12_m13a	588	0	588	588	588	588

Tabela 60. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut]

Accumulated Value Added Time				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Grupa_1_Operacija_1_m3a	2090	0	2090	2090
Grupa_1_Operacija_2_m4a_m4b	2650	0	2650	2650
Grupa_1_Operacija_3_m5a	705	0	705	705
Grupa_1_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	510	0	510	510
Grupa_1_Operacija_5_m9a	2360	0	2360	2360
Grupa_1_Operacija_6_m9a	3105	0	3105	3105
Grupa_1_Operacija_7_m12a	272	0	272	272
Grupa_1_Operacija_8_m13a	1327	0	1327	1327
Grupa_2_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1332	0	1332	1332
Grupa_2_Operacija_2_m3a	1585	0	1585	1585
Grupa_2_Operacija_3_m5a	396	0	396	396
Grupa_2_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	549	0	549	549
Grupa_2_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	600	0	600	600
Grupa_2_Operacija_6_m8a	1525	0	1525	1525
Grupa_2_Operacija_7_m8a	1465	0	1465	1465
Grupa_2_Operacija_8_m12a	172	0	172	172
Grupa_2_Operacija_9_m13a	738	0	738	738
Grupa_3_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	6768	0	6768	6768
Grupa_3_Operacija_2_m1e_m1f	3370	0	3370	3370
Grupa_3_Operacija_3_m5a	1153	0	1153	1153
Grupa_3_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	3780	0	3780	3780
Grupa_3_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	5238	0	5238	5238
Grupa_3_Operacija_6_m12a	243	0	243	243
Grupa_3_Operacija_7_m13a	1113	0	1113	1113
Grupa_4_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	4480	0	4480	4480
Grupa_4_Operacija_2_m1e_m1f	1600	0	1600	1600
Grupa_4_Operacija_3_m6a	764	0	764	764
Grupa_4_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	3249	0	3249	3249
Grupa_4_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	3219	0	3219	3219
Grupa_4_Operacija_6_m12a	260	0	260	260
Grupa_4_Operacija_7_m13a	874	0	874	874
Grupa_5_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	5112	0	5112	5112
Grupa_5_Operacija_2_m1e_m1f	600	0	600	600
Grupa_5_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	2635	0	2635	2635
Grupa_5_Operacija_4_m6a	572	0	572	572
Grupa_5_Operacija_5_m7a_m7b_m7c	2154	0	2154	2154
Grupa_5_Operacija_6_m7d_m7e_m7f	2184	0	2184	2184
Grupa_5_Operacija_7_m1a_m1b	500	0	500	500

Grupa_5_Operacija_8_m11a	110	0	110	110
Grupa_5_Operacija_9_m12a	118	0	118	118
Grupa_5_Operacija_10_m13a	662	0	662	662
Grupa_6_Operacija_1_m0a	3062	0	3062	3062
Grupa_6_Operacija_2_m1e_m1f	1024	0	1024	1024
Grupa_6_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	20775	0	20775	20775
Grupa_6_Operacija_4_m4a_m4b	5200	0	5200	5200
Grupa_6_Operacija_5_m5a	1748	0	1748	1748
Grupa_6_Operacija_6_m6a	75	0	75	75
Grupa_6_Operacija_7_m7a_m7b_m7c	5073	0	5073	5073
Grupa_6_Operacija_8_m7d_m7e_m7f	4443	0	4443	4443
Grupa_6_Operacija_9_m1a_m1b	3256	0	3256	3256
Grupa_6_Operacija_10_m10a	1160	0	1160	1160
Grupa_6_Operacija_11_m12a	450	0	450	450
Grupa_6_Operacija_12_m13a	588	0	588	588

Tabela 61. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period 2·P

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m0a	0,1595	0	0,1595	0,1595
m1a	0,3282	0	0,3282	0,3282
m1b	0,3282	0	0,3282	0,3282
m1c	0,2304	0	0,2304	0,2304
m1d	0,2304	0	0,2304	0,2304
m1e	0,1717	0	0,1717	0,1717
m1f	0,1717	0	0,1717	0,1717
m2a	0,2439	0	0,2439	0,2439
m2b	0,2439	0	0,2439	0,2439
m2c	0,2439	0	0,2439	0,2439
m2d	0,2439	0	0,2439	0,2439
m2e	0,2439	0	0,2439	0,2439
m3a	0,1914	0	0,1914	0,1914
m4a	0,2044	0	0,2044	0,2044
m4b	0,2044	0	0,2044	0,2044
m5a	0,2084	0	0,2084	0,2084
m6a	0,07348958	0	0,07348958	0,07348958
m7a	0,2659	0	0,2659	0,2659
m7b	0,2659	0	0,2659	0,2659
m7c	0,2659	0	0,2659	0,2659
m7d	0,2723	0	0,2723	0,2723
m7e	0,2723	0	0,2723	0,2723
m7f	0,2723	0	0,2723	0,2723
m8a	0,1557	0	0,1557	0,1557
m9a	0,2846	0	0,2846	0,2846
m10a	0,06041667	0	0,06041667	0,06041667
m11a	0,00572917	0	0,00572917	0,00572917
m12a	0,07890625	0	0,07890625	0,07890625
m13a	0,2761	0	0,2761	0,2761

Tabela 62. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1 (za vremenski period P)

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m0a	0,3190	0,00	0,3190	0,3190
m1a	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1b	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1c	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1d	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1e	0,3434	0,00	0,3434	0,3434
m1f	0,3434	0,00	0,3434	0,3434
m2a	0,4877	0,00	0,4877	0,4877
m2b	0,4877	0,00	0,4877	0,4877
m2c	0,4877	0,00	0,4877	0,4877
m2d	0,4877	0,00	0,4877	0,4877
m2e	0,4877	0,00	0,4877	0,4877
m3a	0,3828	0,00	0,3828	0,3828
m4a	0,4089	0,00	0,4089	0,4089
m4b	0,4089	0,00	0,4089	0,4089
m5a	0,4169	0,00	0,4169	0,4169
m6a	0,1470	0,00	0,1470	0,1470

Tabela 63. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2 (za vremenski period P)

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m1a	0,1956	0,00	0,1956	0,1956
m1b	0,1956	0,00	0,1956	0,1956
m7a	0,5318	0,00	0,5318	0,5318
m7b	0,5318	0,00	0,5318	0,5318
m7c	0,5318	0,00	0,5318	0,5318
m7d	0,5446	0,00	0,5446	0,5446
m7e	0,5446	0,00	0,5446	0,5446
m7f	0,5446	0,00	0,5446	0,5446
m8a	0,3115	0,00	0,3115	0,3115
m9a	0,5693	0,00	0,5693	0,5693
m10a	0,1208	0,00	0,1208	0,1208
m11a	0,01145833	0,00	0,01145833	0,01145833
m12a	0,1578	0,00	0,1578	0,1578
m13a	0,5523	0,00	0,5523	0,5523

Tabela 64. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]

Tally Statistics						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Faza 1 Grupa 1	4380	0	4380	4380	4380	4380
Faza 1 Grupa 2	1981	0	1981	1981	1981	1981
Faza 1 Grupa 3	6412	0	6412	6412	6412	6412
Faza 1 Grupa 4	6823	0	6823	6823	6823	6823
Faza 1 Grupa 5	8828	0	8828	8828	8828	8828
Faza 1 Grupa 6	9477	0	9477	9477	9477	9477
Faza 2 Grupa 1	16814	0	16814	16814	16814	16814
Faza 2 Grupa 2	13500	0	13500	13500	13500	13500
Faza 2 Grupa 3	14613	0	14613	14613	14613	14613
Faza 2 Grupa 4	15487	0	15487	15487	15487	15487
Faza 2 Grupa 5	17476	0	17476	17476	17476	17476
Faza 2 Grupa 6	18907	0	18907	18907	18907	18907

P6. Studija slučaja 2 – paralelni postupak prelaska za grupu predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada u prvoj fazi obrade; paralelni postupak prelaska za grupe predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada u drugoj fazi obrade; (P=9600, N=2)

Broj replikacija eksperimenta: 100; Vremenske jedinice: Minuti

Tabela 65. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu (vremena za grupu 6 za operacije iz prve faze obrade i vremena za grupe 3, 4, 5 i 6 za operacije iz druge faze obrade su data po partiji) [minut]

Value Added Time Per Entity						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Grupa_1_Operacija_1_m3a	2090	0	2090	2090	2090	2090
Grupa_1_Operacija_2_m4a_m4b	1325	0	1325	1325	1325	1325
Grupa_1_Operacija_3_m5a	705	0	705	705	705	705
Grupa_1_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	170	0	170	170	170	170
Grupa_1_Operacija_5_m9a	2360	0	2360	2360	2360	2360
Grupa_1_Operacija_6_m9a	3105	0	3105	3105	3105	3105
Grupa_1_Operacija_7_m12a	272	0	272	272	272	272
Grupa_1_Operacija_8_m13a	1328	0	1328	1328	1328	1328
Grupa_2_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	333	0	333	333	333	333
Grupa_2_Operacija_2_m3a	1585	0	1585	1585	1585	1585
Grupa_2_Operacija_3_m5a	396	0	396	396	396	396
Grupa_2_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	183	0	183	183	183	183
Grupa_2_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	200	0	200	200	200	200
Grupa_2_Operacija_6_m8a	1525	0	1525	1525	1525	1525
Grupa_2_Operacija_7_m8a	1465	0	1465	1465	1465	1465
Grupa_2_Operacija_8_m12a	172	0	172	172	172	172
Grupa_2_Operacija_9_m13a	738	0	738	738	738	738
Grupa_3_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1692	0	1692	1692	1692	1692
Grupa_3_Operacija_2_m1e_m1f	1685	0	1685	1685	1685	1685
Grupa_3_Operacija_3_m5a	1153	0	1153	1153	1153	1153
Grupa_3_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	776	0	776	776	776	776
Grupa_3_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	1023	0	1023	1023	1023	1023
Grupa_3_Operacija_6_m12a	122	0	122	122	122	122
Grupa_3_Operacija_7_m13a	1113	0	1113	1113	1113	1113
Grupa_4_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1120	0	1120	1120	1120	1120
Grupa_4_Operacija_2_m1e_m1f	800	0	800	800	800	800
Grupa_4_Operacija_3_m6a	764	0	764	764	764	764
Grupa_4_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	642	0	642	642	642	642
Grupa_4_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	637	0	637	637	637	637
Grupa_4_Operacija_6_m12a	130	0	130	130	130	130
Grupa_4_Operacija_7_m13a	874	0	874	874	874	874
Grupa_5_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1278	0	1278	1278	1278	1278
Grupa_5_Operacija_2_m1e_m1f	300	0	300	300	300	300
Grupa_5_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	527	0	527	527	527	527
Grupa_5_Operacija_4_m6a	572	0	572	572	572	572
Grupa_5_Operacija_5_m7a_m7b_m7c	459	0	459	459	459	459
Grupa_5_Operacija_6_m7d_m7e_m7f	464	0	464	464	464	464

Grupa_5_Operacija_7_m1a_m1b	175	0	175	175	175	175
Grupa_5_Operacija_8_m11a	80	0	80	80	80	80
Grupa_5_Operacija_9_m12a	60	0	60	60	60	60
Grupa_5_Operacija_10_m13a	662	0	662	662	662	662
Grupa_6_Operacija_1_m0a	1531	0	1531	1531	1531	1531
Grupa_6_Operacija_2_m1e_m1f	331	0	331	331	331	331
Grupa_6_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	2428	0	2428	2428	2428	2428
Grupa_6_Operacija_4_m4a_m4b	1400	0	1400	1400	1400	1400
Grupa_6_Operacija_5_m5a	1104	0	1104	1104	1104	1104
Grupa_6_Operacija_6_m6a	58	0	58	58	58	58
Grupa_6_Operacija_7_m7a_m7b_m7c	1071	0	1071	1071	1071	1071
Grupa_6_Operacija_8_m7d_m7e_m7f	941	0	941	941	941	941
Grupa_6_Operacija_9_m1a_m1b	1114	0	1114	1114	1114	1114
Grupa_6_Operacija_10_m10a	680	0	680	680	680	680
Grupa_6_Operacija_11_m12a	225	0	225	225	225	225
Grupa_6_Operacija_12_m13a	588	0	588	588	588	588

Tabela 66. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut]

Accumulated Value Added Time				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Grupa_1_Operacija_1_m3a	2090	0	2090	2090
Grupa_1_Operacija_2_m4a_m4b	2650	0	2650	2650
Grupa_1_Operacija_3_m5a	705	0	705	705
Grupa_1_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	510	0	510	510
Grupa_1_Operacija_5_m9a	2360	0	2360	2360
Grupa_1_Operacija_6_m9a	3105	0	3105	3105
Grupa_1_Operacija_7_m12a	272	0	272	272
Grupa_1_Operacija_8_m13a	1328	0	1328	1328
Grupa_2_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1332	0	1332	1332
Grupa_2_Operacija_2_m3a	1585	0	1585	1585
Grupa_2_Operacija_3_m5a	396	0	396	396
Grupa_2_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	549	0	549	549
Grupa_2_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	600	0	600	600
Grupa_2_Operacija_6_m8a	1525	0	1525	1525
Grupa_2_Operacija_7_m8a	1465	0	1465	1465
Grupa_2_Operacija_8_m12a	172	0	172	172
Grupa_2_Operacija_9_m13a	738	0	738	738
Grupa_3_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	6768	0	6768	6768
Grupa_3_Operacija_2_m1e_m1f	3370	0	3370	3370
Grupa_3_Operacija_3_m5a	1153	0	1153	1153
Grupa_3_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	4656	0	4656	4656
Grupa_3_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	6138	0	6138	6138
Grupa_3_Operacija_6_m12a	244	0	244	244
Grupa_3_Operacija_7_m13a	1113	0	1113	1113
Grupa_4_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	4480	0	4480	4480
Grupa_4_Operacija_2_m1e_m1f	1600	0	1600	1600
Grupa_4_Operacija_3_m6a	764	0	764	764
Grupa_4_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	3852	0	3852	3852
Grupa_4_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	3822	0	3822	3822
Grupa_4_Operacija_6_m12a	260	0	260	260
Grupa_4_Operacija_7_m13a	874	0	874	874

Grupa_5_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	5112	0	5112	5112
Grupa_5_Operacija_2_m1e_m1f	300	0	300	300
Grupa_5_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	2635	0	2635	2635
Grupa_5_Operacija_4_m6a	572	0	572	572
Grupa_5_Operacija_5_m7a_m7b_m7c	2754	0	2754	2754
Grupa_5_Operacija_6_m7d_m7e_m7f	2784	0	2784	2784
Grupa_5_Operacija_7_m1a_m1b	700	0	700	700
Grupa_5_Operacija_8_m11a	160	0	160	160
Grupa_5_Operacija_9_m12a	120	0	120	120
Grupa_5_Operacija_10_m13a	662	0	662	662
Grupa_6_Operacija_1_m0a	3062	0	3062	3062
Grupa_6_Operacija_2_m1e_m1f	1324	0	1324	1324
Grupa_6_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	24280	0	24280	24280
Grupa_6_Operacija_4_m4a_m4b	5600	0	5600	5600
Grupa_6_Operacija_5_m5a	2208	0	2208	2208
Grupa_6_Operacija_6_m6a	116	0	116	116
Grupa_6_Operacija_7_m7a_m7b_m7c	6426	0	6426	6426
Grupa_6_Operacija_8_m7d_m7e_m7f	5646	0	5646	5646
Grupa_6_Operacija_9_m1a_m1b	4456	0	4456	4456
Grupa_6_Operacija_10_m10a	1360	0	1360	1360
Grupa_6_Operacija_11_m12a	450	0	450	450
Grupa_6_Operacija_12_m13a	588	0	588	588

Tabela 67. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period 2·P

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m0a	0,1595	0	0,1595	0,1595
m1a	0,3646	0	0,3646	0,3646
m1b	0,3646	0	0,3646	0,3646
m1c	0,2304	0	0,2304	0,2304
m1d	0,2304	0	0,2304	0,2304
m1e	0,1795	0	0,1795	0,1795
m1f	0,1639	0	0,1639	0,1639
m2a	0,2804	0	0,2804	0,2804
m2b	0,2804	0	0,2804	0,2804
m2c	0,2804	0	0,2804	0,2804
m2d	0,2804	0	0,2804	0,2804
m2e	0,2804	0	0,2804	0,2804
m3a	0,1914	0	0,1914	0,1914
m4a	0,2148	0	0,2148	0,2148
m4b	0,2148	0	0,2148	0,2148
m5a	0,2324	0	0,2324	0,2324
m6a	0,07562500	0	0,07562500	0,07562500
m7a	0,3255	0	0,3255	0,3255
m7b	0,3255	0	0,3255	0,3255
m7c	0,3255	0	0,3255	0,3255
m7d	0,3297	0	0,3297	0,3297
m7e	0,3297	0	0,3297	0,3297
m7f	0,3297	0	0,3297	0,3297
m8a	0,1557	0	0,1557	0,1557
m9a	0,2846	0	0,2846	0,2846

m10a	0,07083333	0	0,07083333	0,07083333
m11a	0,00833333	0	0,00833333	0,00833333
m12a	0,07906250	0	0,07906250	0,07906250
m13a	0,2762	0	0,2762	0,2762

Tabela 68. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1 (za vremenski period P)

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m0a	0,3190	0,00	0,3190	0,3190
m1a	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1b	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1c	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1d	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1e	0,3591	0,00	0,3591	0,3591
m1f	0,3278	0,00	0,3278	0,3278
m2a	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m2b	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m2c	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m2d	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m2e	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m3a	0,3828	0,00	0,3828	0,3828
m4a	0,4297	0,00	0,4297	0,4297
m4b	0,4297	0,00	0,4297	0,4297
m5a	0,4648	0,00	0,4648	0,4648
m6a	0,1513	0,00	0,1513	0,1513

Tabela 69. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2 (za vremenski period P)

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m1a	0,2685	0,00	0,2685	0,2685
m1b	0,2685	0,00	0,2685	0,2685
m7a	0,6509	0,00	0,6509	0,6509
m7b	0,6509	0,00	0,6509	0,6509
m7c	0,6509	0,00	0,6509	0,6509
m7d	0,6594	0,00	0,6594	0,6594
m7e	0,6594	0,00	0,6594	0,6594
m7f	0,6594	0,00	0,6594	0,6594
m8a	0,3115	0,00	0,3115	0,3115
m9a	0,5693	0,00	0,5693	0,5693
m10a	0,1417	0,00	0,1417	0,1417
m11a	0,01666667	0,00	0,01666667	0,01666667
m12a	0,1581	0,00	0,1581	0,1581
m13a	0,5524	0,00	0,5524	0,5524

Tabela 70. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]

Tally Statistics						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Faza 1 Grupa 1	4380	0	4380	4380	4380	4380
Faza 1 Grupa 2	1981	0	1981	1981	1981	1981
Faza 1 Grupa 3	6637	0	6637	6637	6637	6637
Faza 1 Grupa 4	6642	0	6642	6642	6642	6642
Faza 1 Grupa 5	7817	0	7817	7817	7817	7817
Faza 1 Grupa 6	7822	0	7822	7822	7822	7822
Faza 2 Grupa 1	17492	0	17492	17492	17492	17492
Faza 2 Grupa 2	13861	0	13861	13861	13861	13861
Faza 2 Grupa 3	16164	0	16164	16164	16164	16164
Faza 2 Grupa 4	18366	0	18366	18366	18366	18366
Faza 2 Grupa 5	19028	0	19028	19028	19028	19028
Faza 2 Grupa 6	14653	0	14653	14653	14653	14653

P7. Studija slučaja 2 – kombinovani postupak prelaska za grupu predmeta rada 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada u prvoj fazi obrade; kombinovani postupak prelaska za grupe predmeta rada 3, 4, 5 i 6 i redni postupak prelaska ostalih grupa predmeta rada u drugoj fazi obrade; (P=9600, N=2)

Broj replikacija eksperimenta: 100; Vremenske jedinice: Minuti

Tabela 71. Vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada po tehnološkom sistemu (vremena za grupu 6 za operacije iz prve faze obrade i vremena za grupe 3, 4, 5 i 6 za operacije iz druge faze obrade su data po partiji) [minut]

Value Added Time Per Entity						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Grupa_1_Operacija_1_m3a	2090	0	2090	2090	2090	2090
Grupa_1_Operacija_2_m4a_4b	1325	0	1325	1325	1325	1325
Grupa_1_Operacija_3_m5a	705	0	705	705	705	705
Grupa_1_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	170	0	170	170	170	170
Grupa_1_Operacija_5_m9a	2360	0	2360	2360	2360	2360
Grupa_1_Operacija_6_m9a	3105	0	3105	3105	3105	3105
Grupa_1_Operacija_7_m12a	272	0	272	272	272	272
Grupa_1_Operacija_8_m13a	1328	0	1328	1328	1328	1328
Grupa_2_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	333	0	333	333	333	333
Grupa_2_Operacija_2_m3a	1585	0	1585	1585	1585	1585
Grupa_2_Operacija_3_m5a	396	0	396	396	396	396
Grupa_2_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	183	0	183	183	183	183
Grupa_2_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	200	0	200	200	200	200
Grupa_2_Operacija_6_m8a	1525	0	1525	1525	1525	1525
Grupa_2_Operacija_7_m8a	1465	0	1465	1465	1465	1465
Grupa_2_Operacija_8_m12a	172	0	172	172	172	172
Grupa_2_Operacija_9_m13a	738	0	738	738	738	738
Grupa_3_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1692	0	1692	1692	1692	1692
Grupa_3_Operacija_2_m1e_m1f	1685	0	1685	1685	1685	1685
Grupa_3_Operacija_3_m5a	1153	0	1153	1153	1153	1153
Grupa_3_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	776	0	776	776	776	776
Grupa_3_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	1023	0	1023	1023	1023	1023
Grupa_3_Operacija_6_m12a	122	0	122	122	122	122
Grupa_3_Operacija_7_m13a	1113	0	1113	1113	1113	1113
Grupa_4_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1120	0	1120	1120	1120	1120
Grupa_4_Operacija_2_m1e_m1f	800	0	800	800	800	800
Grupa_4_Operacija_3_m6a	764	0	764	764	764	764
Grupa_4_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	642	0	642	642	642	642
Grupa_4_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	637	0	637	637	637	637
Grupa_4_Operacija_6_m12a	130	0	130	130	130	130
Grupa_4_Operacija_7_m13a	874	0	874	874	874	874
Grupa_5_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1278	0	1278	1278	1278	1278
Grupa_5_Operacija_2_m1e_m1f	300	0	300	300	300	300
Grupa_5_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	527	0	527	527	527	527
Grupa_5_Operacija_4_m6a	572	0	572	572	572	572
Grupa_5_Operacija_5_m7a_m7b_m7c	459	0	459	459	459	459

Grupa_5_Operacija_6_m7d_m7e_m7f	464	0	464	464	464	464
Grupa_5_Operacija_7_m1a_m1b	175	0	175	175	175	175
Grupa_5_Operacija_8_m11a	80	0	80	80	80	80
Grupa_5_Operacija_9_m12a	60	0	60	60	60	60
Grupa_5_Operacija_10_m13a	662	0	662	662	662	662
Grupa_6_Operacija_1_m0a	1531	0	1531	1531	1531	1531
Grupa_6_Operacija_2_m1e_m1f	331	0	331	331	331	331
Grupa_6_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	2428	0	2428	2428	2428	2428
Grupa_6_Operacija_4_m4a_m4b	1400	0	1400	1400	1400	1400
Grupa_6_Operacija_5_m5a	1104	0	1104	1104	1104	1104
Grupa_6_Operacija_6_m6a	58	0	58	58	58	58
Grupa_6_Operacija_7_m7a_m7b_m7c	1071	0	1071	1071	1071	1071
Grupa_6_Operacija_8_m7d_m7e_m7f	941	0	941	941	941	941
Grupa_6_Operacija_9_m1a_m1b	1114	0	1114	1114	1114	1114
Grupa_6_Operacija_10_m10a	680	0	680	680	680	680
Grupa_6_Operacija_11_m12a	225	0	225	225	225	225
Grupa_6_Operacija_12_m13a	588	0	588	588	588	588

Tabela 72. Ukupna vremena rada na operacijama za grupe predmeta rada [minut]

Accumulated Value Added Time				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Grupa_1_Operacija_1_m3a	2090	0	2090	2090
Grupa_1_Operacija_2_m4a_4b	2650	0	2650	2650
Grupa_1_Operacija_3_m5a	705	0	705	705
Grupa_1_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	510	0	510	510
Grupa_1_Operacija_5_m9a	2360	0	2360	2360
Grupa_1_Operacija_6_m9a	3105	0	3105	3105
Grupa_1_Operacija_7_m12a	272	0	272	272
Grupa_1_Operacija_8_m13a	1328	0	1328	1328
Grupa_2_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	1332	0	1332	1332
Grupa_2_Operacija_2_m3a	1585	0	1585	1585
Grupa_2_Operacija_3_m5a	396	0	396	396
Grupa_2_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	549	0	549	549
Grupa_2_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	600	0	600	600
Grupa_2_Operacija_6_m8a	1525	0	1525	1525
Grupa_2_Operacija_7_m8a	1465	0	1465	1465
Grupa_2_Operacija_8_m12a	172	0	172	172
Grupa_2_Operacija_9_m13a	738	0	738	738
Grupa_3_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	6768	0	6768	6768
Grupa_3_Operacija_2_m1e_m1f	3370	0	3370	3370
Grupa_3_Operacija_3_m5a	1153	0	1153	1153
Grupa_3_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	4656	0	4656	4656
Grupa_3_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	6138	0	6138	6138
Grupa_3_Operacija_6_m12a	244	0	244	244
Grupa_3_Operacija_7_m13a	1113	0	1113	1113
Grupa_4_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	4480	0	4480	4480
Grupa_4_Operacija_2_m1e_m1f	1600	0	1600	1600
Grupa_4_Operacija_3_m6a	764	0	764	764
Grupa_4_Operacija_4_m7a_m7b_m7c	3852	0	3852	3852
Grupa_4_Operacija_5_m7d_m7e_m7f	3822	0	3822	3822
Grupa_4_Operacija_6_m12a	260	0	260	260

Grupa_4_Operacija_7_m13a	874	0	874	874
Grupa_5_Operacija_1_m1a_m1b_m1c_m1d	5112	0	5112	5112
Grupa_5_Operacija_2_m1e_m1f	300	0	300	300
Grupa_5_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	2635	0	2635	2635
Grupa_5_Operacija_4_m6a	572	0	572	572
Grupa_5_Operacija_5_m7a_m7b_m7c	2754	0	2754	2754
Grupa_5_Operacija_6_m7d_m7e_m7f	2784	0	2784	2784
Grupa_5_Operacija_7_m1a_m1b	700	0	700	700
Grupa_5_Operacija_8_m11a	160	0	160	160
Grupa_5_Operacija_9_m12a	120	0	120	120
Grupa_5_Operacija_10_m13a	662	0	662	662
Grupa_6_Operacija_1_m0a	3062	0	3062	3062
Grupa_6_Operacija_2_m1e_m1f	1324	0	1324	1324
Grupa_6_Operacija_3_m2a_m2b_m2c_m2d_m2e	24280	0	24280	24280
Grupa_6_Operacija_4_m4a_m4b	5600	0	5600	5600
Grupa_6_Operacija_5_m5a	2208	0	2208	2208
Grupa_6_Operacija_6_m6a	116	0	116	116
Grupa_6_Operacija_7_m7a_m7b_m7c	6426	0	6426	6426
Grupa_6_Operacija_8_m7d_m7e_m7f	5646	0	5646	5646
Grupa_6_Operacija_9_m1a_m1b	4456	0	4456	4456
Grupa_6_Operacija_10_m10a	1360	0	1360	1360
Grupa_6_Operacija_11_m12a	450	0	450	450
Grupa_6_Operacija_12_m13a	588	0	588	588

Tabela 73. Iskorišćenje tehnoloških sistema za vremenski period 2·P

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m0a	0,1595	0	0,1595	0,1595
m1a	0,3646	0	0,3646	0,3646
m1b	0,3646	0	0,3646	0,3646
m1c	0,2304	0	0,2304	0,2304
m1d	0,2304	0	0,2304	0,2304
m1e	0,1639	0	0,1639	0,1639
m1f	0,1795	0	0,1795	0,1795
m2a	0,2804	0	0,2804	0,2804
m2b	0,2804	0	0,2804	0,2804
m2c	0,2804	0	0,2804	0,2804
m2d	0,2804	0	0,2804	0,2804
m2e	0,2804	0	0,2804	0,2804
m3a	0,1914	0	0,1914	0,1914
m4a	0,2148	0	0,2148	0,2148
m4b	0,2148	0	0,2148	0,2148
m5a	0,2324	0	0,2324	0,2324
m6a	0,07562500	0	0,07562500	0,07562500
m7a	0,3255	0	0,3255	0,3255
m7b	0,3255	0	0,3255	0,3255
m7c	0,3255	0	0,3255	0,3255
m7d	0,3297	0	0,3297	0,3297
m7e	0,3297	0	0,3297	0,3297
m7f	0,3297	0	0,3297	0,3297
m8a	0,1557	0	0,1557	0,1557

m9a	0,2846	0	0,2846	0,2846
m10a	0,07083333	0	0,07083333	0,07083333
m11a	0,00833333	0	0,00833333	0,00833333
m12a	0,07906250	0	0,07906250	0,07906250
m13a	0,2762	0	0,2762	0,2762

Tabela 74. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 1 (za vremenski period P)

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m0a	0,3190	0,00	0,3190	0,3190
m1a	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1b	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1c	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1d	0,4607	0,00	0,4607	0,4607
m1e	0,3591	0,00	0,3591	0,3591
m1f	0,3278	0,00	0,3278	0,3278
m2a	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m2b	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m2c	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m2d	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m2e	0,5607	0,00	0,5607	0,5607
m3a	0,3828	0,00	0,3828	0,3828
m4a	0,4297	0,00	0,4297	0,4297
m4b	0,4297	0,00	0,4297	0,4297
m5a	0,4648	0,00	0,4648	0,4648
m6a	0,1513	0,00	0,1513	0,1513

Tabela 75. Iskorišćenje tehnoloških sistema za fazu obrade 2 (za vremenski period P)

Scheduled Utilization				
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
m1a	0,2685	0,00	0,2685	0,2685
m1b	0,2685	0,00	0,2685	0,2685
m7a	0,6509	0,00	0,6509	0,6509
m7b	0,6509	0,00	0,6509	0,6509
m7c	0,6509	0,00	0,6509	0,6509
m7d	0,6594	0,00	0,6594	0,6594
m7e	0,6594	0,00	0,6594	0,6594
m7f	0,6594	0,00	0,6594	0,6594
m8a	0,3115	0,00	0,3115	0,3115
m9a	0,5693	0,00	0,5693	0,5693
m10a	0,1417	0,00	0,1417	0,1417
m11a	0,01666667	0,00	0,01666667	0,01666667
m12a	0,1581	0,00	0,1581	0,1581
m13a	0,5524	0,00	0,5524	0,5524

Tabela 76. Vremena završetaka proizvodnje grupa predmeta rada [minut]

Tally Statistics						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Faza 1 Grupa 1	4380	0	4380	4380	4380	4380
Faza 1 Grupa 2	1981	0	1981	1981	1981	1981
Faza 1 Grupa 3	6231	0	6231	6231	6231	6231
Faza 1 Grupa 4	6642	0	6642	6642	6642	6642
Faza 1 Grupa 5	9017	0	9017	9017	9017	9017
Faza 1 Grupa 6	9022	0	9022	9022	9022	9022
Faza 2 Grupa 1	17492	0	17492	17492	17492	17492
Faza 2 Grupa 2	13793	0	13793	13793	13793	13793
Faza 2 Grupa 3	16164	0	16164	16164	16164	16164
Faza 2 Grupa 4	18366	0	18366	18366	18366	18366
Faza 2 Grupa 5	19028	0	19028	19028	19028	19028
Faza 2 Grupa 6	14783	0	14783	14783	14783	14783