

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

Зоран М. Ракићевић

**ПОДРШКА ОПЕРАТИВНОМ  
ПЛАНИРАЊУ ПРОИЗВОДЊЕ И  
УПРАВЉАЊУ РЕСУРСИМА У МАЛИМ  
И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА**

Докторска дисертација

Београд, 2018.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF ORGANISATIONAL SCIENCES

Zoran M. Rakićević

**SUPPORT FOR OPERATIONAL  
PRODUCTION PLANNING AND  
RESOURCE MANAGEMENT IN SMALL  
AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018.

## **МЕНТОР:**

---

др Даница Лечић-Цветковић, редовни професор  
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

## **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:**

---

др Јасмина Омербеговић-Бијеловић, редовни професор  
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

---

др Милан Мартић, редовни професор  
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

---

др Сања Маринковић, ванредни професор  
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

---

др Драгана Макајић-Николић, ванредни професор  
Факултет организационих наука, Универзитет у Београду

---

др Небојша Бојовић, редовни професор  
Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду

Датум одбране рада: \_\_\_\_\_

## ИЗЈАВА ЗАХВАЛНОСТИ

Овом приликом изражавам велику захвалност својим менторима, проф. др Даници Лечић-Цветковић и проф. др Јасмини Омербеговић-Бијеловић, на исказаној помоћи око одабира и дефинисања теме докторске дисертације, проналажења литературе, сугестијама и корекцијама приликом писања докторске дисертације, као и на пруженој педагошкој подршци. Посебну захвалност дугујем колегиници доц. др Нини Турајлић на изузетној помоћи око програмирања, у дисертацији предложеног алгорита, у рачунарском програму *MatLab*.

Такође, велику захвалност дугујем и породицама Ракићевић и Којић које ми, својом родитељском и породичном љубављу, подршком, саветима и искуством, помажу и инспиришу ме у намери ка остваривању животних циљева.

Највећу захвалност дугујем својој супрузи Јовани и ћеркама Сари и Ленки, на безрезервној подршци, несебичној и безусловној љубави ♥.

**Наслов докторске дисертације:** Подршка оперативном планирању производње и управљању ресурсима у малим и средњим предузећима

**Резиме:** У оквиру ове докторске дисертације истражена је подршка процесу оперативног планирања производње и управљања ресурсима у малим и средњим предузећима. Посебан фокус стављен је на активности распоређивања и терминирања, који чине најкомплексније планерске проблеме на оперативном нивоу. Мала и средња предузећа (МСП) представљају доминантну категорију предузећа у Републици Србији, а и шире у земљама Европске уније (ЕУ-28). МСП представљају најчесталију категорију и у производном сектору Републике Србије и ЕУ. Производња према поруцбини и жељама купаца и процесна организација производње представљају најзаступљенији облик производње у МСП, а *Job Shop* проблем распоређивања је саставни део процеса оперативног тј. краткорочног планирања производње у овој врсти предузећа.

Имајући у виду да оперативно планирање непосредно претходи активностима трансформације предмета рада и стварању додатне вредности, посебан нагласак дат је на управљању производним ресурсима у процесу производње (сировине, материјали и други предмети рада, машине, алати и остала средства за рад, људски ресурси, време према коме се активности планирања реализују, новац тј. капитал, информације, тржиште).

У дисертацији се даје преглед основних теоријских појмова: мала и средња предузећа, подршка МСП, процес управљања у МСП, планирање производње и управљање ресурсима. Поред тога, посебно је дефинисан процес оперативног планирања производње, са аспекта активности из којих се састоји. Распоређивање и терминирање у производњи су препознати као једни од најчешћих проблема из домена оперативног планирања производње. Они подразумевају распоређивање производа на машине, тј. проналажење редоследа радних задатака или послова који треба да се изврше на свакој од више машина. Поред тога обухватају и дефинисање временских термина за почетак и завршетак појединих производних активности. Циљ прављења адекватног распореда, тј. редоследа операција, произилази из ограничења капацитета производних ресурса (радници, машине и друга производна опрема). Стога се у дисертацији детаљније разматра решавање

проблема распоређивања и терминирања, да би кроз њихово унапређење дошло до адекватног процеса оперативног планирања који је усклађен са потребама предузећа.

За активности оперативног планирања производње представљени су карактеристични проблеми (проблем распоређивања, проблем терминирања, проблеми међуоперационих залиха и проблем одређивања дужине трајања оперативног периода), као и модели, методе и технике које се користе у решавању датих проблема. С обзиром да поједини проблеми спадају у *NP* (енгл. *Nondeterministic Polynomial*) тешке проблеме операционих истраживања (попут *Job Shop* проблема распоређивања и терминирања), пронаћи најбоље решење, тј. оптималан распоред, представља веома комплексан проблем, па је у литератури, посебна пажња посвећена хеуристичком начину решавања ових проблема.

Током прегледа литературе, на основу квантитативне и квалитативне анализе радова, извршена је селекција од истраживачког значаја, као и спознаја научног достигнућа у истраживаним областима. Критичким освртом на прегледану литературу, оправдан је предлог новог истраживачког подухвата у дисертацији.

Да би се сагледали практични аспекти истраживаног проблема, полази се од претпоставке да процес оперативног планирања производње и управљања ресурсима није на адекватном нивоу развијености у МСП у Србији. Резултати истраживања спроведеног на узорку од 79 предузећа указују на скромно познавање и примену савремених метода и техника операционог менаџмента у оперативном планирању и управљању ресурсима у производном процесу. На основу тога закључује се да је МСП потребна адекватна подршка у овом домену. У дисертацији је креиран модел подршке оперативном планирању производње (ОПП) и управљању ресурсима (УР) у МСП који се састоји од шест фаза: истражити проблем МСП у домену ОПП и УР, дефинисати циљ подршке, дефинисати пакет подршке, дефинисати индикаторе за праћење примене подршке, спровести подршку и анализирати индикаторе успешности спроведене подршке.

У оквиру новог истраживачког подухвата, у дисертацији је обрађен проблем распоређивања у производњи малог обима, који је карактеристичан за прекидну

појединачну производњу. Овај проблем је у литератури познат под називом дворесурсно ограничен *Job Shop* проблем (енгл. *Dual Resource Constrained Flexible Job Shop - DRCFJS*). Проблем је моделиран у окружењу за нумеричке прорачуне и програмском језику *MatLab* (енгл. *Matrix Laboratory*). За решавање овог проблема коришћена је метахеуристика вишекритеријумски генетски алгоритам сортирања недоминираних решења (*NSGA-II*) са критеријумским функцијама  $C_{max}$  и *JIT* (енгл. *Just-in-Time*) за вредновање добијених распореда. Примена метахеуристике, којом је значајно унапређено решавање проблема *DRCFJS* су детаљно представљени у дисертацији.

**Кључне речи:** Планирање производње, управљање ресурсима, МСП, подршка МСП, оперативно планирање производње, проблеми распоређивања и терминирања, ниво развијености планирања производње, дворесурсно ограничени *Flexible Job Shop* проблем, генетски алгоритми, *NSGA II*.

**Научна област:** Организационе науке (Операциони менаџмент).

**Ужа научна област:** Управљање производњом и услугама

УДК: 658.5

*Title of doctoral dissertation: Support for Operational Production Planning and Resource Management in Small and Medium-sized Enterprises*

*Summary: This dissertation proposal explores the support for operational production planning in small and medium-sized enterprises (SME). Special emphasis is put on scheduling activities that represent the most complex planning problem at the operational level. SMEs are the predominant category of enterprises both in Serbia and in the European Union (EU-28). SMEs also present the most frequent type of enterprises in the manufacturing sector in Serbia and the EU-28 countries. Make-to-Order (MTO) production and production organization according to the process are the most common forms of production in small and medium-sized manufacturing enterprises, and the Job Shop scheduling problem is an integral part of operational, i.e. short-term production planning in this group of enterprises.*

*Bearing in mind that operational production planning is directly and closely related to the transformation of raw materials and semi-manufactured goods, which creates and adds value, we emphasize the need to manage manufacturing resources adequately in the production process (materials, machines, tools, labour force, time, money - i.e. capital, information, market).*

*The dissertation proposal presents the overview of basic theoretical concepts: small and medium-sized enterprises, support for SMEs, the process of management in SMEs, production planning, and resource management. Additionally, the process of operational production planning is defined from the aspect of activities it encompasses. Production scheduling problems are observed as one of the most frequent issues in the field of operational production planning. They include scheduling products to machines, i.e. finding the sequence of tasks and activities that need to be performed on each of available machines. Also, it includes determination of time slots for the beginning and completion of certain manufacturing activities. The aim of an adequate schedule, i.e. sequence of operations, arises from the capacity constraints of production resources (workers, machines and other production equipment). Therefore, special attention is dedicated to the improvement of scheduling activities, to make adequate operational planning process which is harmonised with the needs of a particular enterprise.*



*For operational production planning activities, typical problems that occur are presented (scheduling problem, work in process and inventory between operations problem, and a problem of determination of operational period length), as well as models, methods and, techniques used for solving these problems. As some of the problems are classified as NP-hard (Nondeterministic Polynomial) problems of operational research, finding the best solution, i.e. optimal schedule, is a very complex problem. Therefore, in the literature, particular attention is dedicated to the heuristic approach for solving these problems.*

*In the literature review, based on quantitative and qualitative analyses of the scientific papers, the papers that are of interest to this topic are selected, and the scientific achievements in the observed field are recognised. Finally, using the critical review of the literature, the proposal of the new research project presented in this dissertation is justified.*

*In order to examine the practical aspects of the studied problem, it is assumed that operational planning of production is not at the adequate level of development in Serbian SMEs. The results of the survey performed on a sample of 79 companies indicate a modest knowledge and application of modern methods and techniques of operations management in operational planning and resource management in the production process. Based on that, it could be concluded that SMEs need an adequate support in the field of operational planning and management of resources in the production process. In the dissertation, a model of support for operational production planning and resource management in SMEs is created, in a manner to consist of six phases: investigate the problem of SME in the domain of operational production planning and resource management, define the goal of support, define the support package, define indicators for monitoring the application of support, provide the support, and analyze indicators of the performance of the provided support.*

*Within the new research project, the scheduling problem in small-scale production is defined, and is typical for single product production (i.e. one-of-a-kind production). In the literature, this problem is known as a Dual Resource Constrained Flexible Job Shop. The observed problem is modelled in the numerical computing environment and programming language MatLab (Matrix Laboratory). To solve the problem, multi-*

*objective genetic algorithm metaheuristic is used, known as NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II) with criteria functions makespan ( $C_{max}$ ) and JIT. The application of the metaheuristics, which significantly improved DRCFJS problem solving, is further on presented in the dissertation.*

**Keywords:** *Production planning, resource management, SME, SMEs support, operational production planning, scheduling problems, development level of production planning, Dual Resource Constrained Flexible Job Shop problem, genetic algorithms, NSGA-II.*

**Scientific area:** *Organisational sciences (Operations management).*

**Specific scientific area:** *Production and services management*

**UDC:** 658.5

## САДРЖАЈ

<b>1. УВОД</b> .....	<b>1</b>
<b>2. НАЦРТ НАУЧНЕ ЗАМИСЛИ ИСТРАЖИВАЊА У ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ</b> .....	<b>9</b>
2.1. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА.....	9
2.2. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА .....	11
2.3. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ У ИСТРАЖИВАЊУ .....	13
2.4. МЕТОДЕ И НАЧИН ИСТРАЖИВАЊА.....	14
2.5. ОЧЕКИВАНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС .....	16
2.6. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА.....	16
2.7. ОПИС САДРЖАЈА РАДА .....	17
<b>3. МАЛА И СРЕДЊА ПРЕДУЗЕЋА</b> .....	<b>20</b>
3.1. ПОЈАМ МАЛИХ И СРЕДЊИХ ПРЕДУЗЕЋА.....	21
3.2. ПОДРШКА МАЛИМ И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА .....	27
3.3. СПЕЦИФИЧНОСТИ УПРАВЉАЊА МАЛИМ И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА.....	33
<b>4. ОПЕРАТИВНО ПЛАНИРАЊЕ ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊЕ РЕСУРСИМА У МАЛИМ И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА</b> .....	<b>40</b>
4.1. ПЛАНИРАЊЕ ПРОИЗВОДЊЕ И ПРУЖАЊА УСЛУГА.....	40
4.2. УПРАВЉАЊЕ РЕСУРСИМА.....	48
4.2.1. Дефиниција ресурса у предузећу .....	49
4.2.2. Управљање производним ресурсима.....	51
4.2.3. Планирање производних ресурса.....	53
4.3. КАРАКТЕРИСТИКЕ И ТИПОВИ ПРОИЗВОДНИХ ОПЕРАЦИЈА .....	55
4.4. ДОМЕН ОПЕРАТИВНОГ ПЛАНИРАЊА ПРОИЗВОДЊЕ .....	62
4.5. ПРОБЛЕМИ У ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРАЊУ ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊУ РЕСУРСИМА... 69	
4.5.1. Категоризација проблема и њихово моделовање.....	70
4.5.2. Проблем распоређивања и оперативно планирање производње.....	73
4.5.3. Проблем терминирања и оперативно планирање производње.....	77
4.5.4. Проблеми међуоперационих залиха и оперативно планирање производње .....	79
4.5.5. Оперативно планирање производње и проблем одређивања дужине трајања оперативног периода .....	82
4.6. РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА У ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРАЊУ ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊУ РЕСУРСИМА.....	83

4.6.1. Категоризација проблема распоређивања и терминирања, специфичности означавања.....	83
4.6.2. Комплексност проблема распоређивања и терминирања .....	94
4.6.3. Методе решавања проблема распоређивања и терминирања .....	95
4.7. СПЕЦИФИЧНОСТИ ОПЕРАТИВНОГ ПЛАНИРАЊА ПРОИЗВОДЊЕ У МСП .....	102
4.7.1. Опис проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима .....	106
4.7.2. Математички модели проблема <i>Job Shop</i> .....	109
4.7.3. Проблем правовременог распоређивања и терминирања .....	126
<b>5. ПОДРШКА ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРАЊУ ПРОИЗВОДЊЕ У МСП. 129</b>	
5.1. ПОДРШКА РЕШАВАЊУ ПРОБЛЕМА РАСПОРЕЂИВАЊА И ТЕРМИНИРАЊА У МСП.....	131
5.1.1. Правила приоритета.....	134
5.1.2. <i>Giffler &amp; Thompson (GT)</i> алгоритам листе.....	142
5.1.3. Хеуристика премештање уских грла .....	143
5.1.4. Метода локалног претраживања .....	147
5.1.5. Табу претраживање за проблем <i>Job Shop</i> .....	149
5.1.6. Симулирано каљење за проблем <i>Job Shop</i> .....	150
5.1.7. Генетски алгоритми и проблем <i>Job Shop</i> .....	151
5.1.8. Метода променљивих околина и проблем <i>Job Shop</i> .....	158
5.2. РАЗВИЈЕНОСТ ОПЕРАТИВНОГ ПЛАНИРАЊА ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊА РЕСУРСИМА 163	
5.2.1. Дефинисање нивоа развијености оперативног планирања производње.....	163
5.2.2. Мерење нивоа развијености оперативног планирања производње.....	165
5.3. ИСТРАЖИВАЊЕ НИВОА РАЗВИЈЕНОСТИ ОПЕРАТИВНОГ ПЛАНИРАЊА ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊА РЕСУРСИМА У МСП .....	170
5.3.1. Методологија истраживања .....	171
5.3.2. Резултати истраживања.....	172
5.4. АНАЛИЗА МОГУЋНОСТИ ЗА УНАПРЕЂИВАЊЕ ПОДРШКЕ ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРАЊУ ПРОИЗВОДЊЕ - ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЕ ИЗ ИСТРАЖИВАНИХ ОБЛАСТИ .....	192
5.4.1. Методологија коришћена у прегледу литературе.....	192
5.4.2. Претраживање радова .....	193
5.4.3. Селекција радова.....	194
5.4.4. Анализа селектованих радова .....	194
5.4.5. Квантитативна анализа селектованих радова.....	195
5.4.6. Квалитативна анализа селектованих радова .....	198
5.5. КРИТИЧКИ ОСВРТ НА ДОСАДАШЊЕ РЕЗУЛТАТЕ ИСТРАЖИВАЊА .....	215
5.6. УНАПРЕЂЕЊЕ РЕШАВАЊА ПРОБЛЕМА РАСПОРЕЂИВАЊА И ТЕРМИНИРАЊА У	

ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРАЊУ ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊУ РЕСУРСИМА У МСП.....	221
5.7. РАЗВОЈ МОДЕЛА ПОДРШКЕ ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРАЊУ ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊУ РЕСУРСИМА У МСП.....	243
<b>6. ЗАКЉУЧАК.....</b>	<b>249</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>256</b>
<b>ПРИЛОЗИ .....</b>	<b>277</b>

## СПИСАК ТАБЕЛА:

<i>Табела 1: Разграничење микро, малих и средњих предузећа у ЕУ.....</i>	<i>22</i>
<i>Табела 2: Проблеми МСП, Србија и ЕУ-28.....</i>	<i>25</i>
<i>Табела 3: Карактеристике и разлике између МТО и МТС производње .....</i>	<i>62</i>
<i>Табела 4: Max и Sum функције .....</i>	<i>93</i>
<i>Табела 5: Предности и недостаци Job Shop организације производње.....</i>	<i>109</i>
<i>Табела 6: Експоненцијална сложеност проблема Job Shop.....</i>	<i>117</i>
<i>Табела 7: Пример проблема Flexible Job Shop.....</i>	<i>121</i>
<i>Табела 8: Неки од Just-in-Time критеријума у оперативном планирању производње.....</i>	<i>128</i>
<i>Табела 9: Правила приоритета која се користе у моделима распоређивања .....</i>	<i>136</i>
<i>Табела 10: Најзаступљенија правила распоређивања у италијанским МСП .....</i>	<i>141</i>
<i>Табела 11: Параметри проблема распореда на једној машини за примену SBH.....</i>	<i>144</i>
<i>Табела 12: Пример DRCFJS три производа на пет машина и три радника.....</i>	<i>155</i>
<i>Табела 13: Основне информације о методологији истраживања .....</i>	<i>171</i>
<i>Табела 14: Структура узорка, категоријске променљиве и њихове фреквенције .....</i>	<i>173</i>
<i>Табела 15: Средње вредности непрекидних променљивих и вредности на скалама .....</i>	<i>174</i>
<i>Табела 16: Средње вредности променљивих - софистицираност ОПП .....</i>	<i>176</i>
<i>Табела 17: Софтверска подршка активностима ОПП - истраживање .....</i>	<i>177</i>
<i>Табела 18: Кратак опис коришћених софтвера - истраживање .....</i>	<i>178</i>
<i>Табела 19: Интегрисаност система планирања.....</i>	<i>179</i>
<i>Табела 20: Задовољство перформансама производње.....</i>	<i>180</i>
<i>Табела 21: Потребна подршка у домену ОПП и УР.....</i>	<i>181</i>
<i>Табела 22: Спремност на различите облике подршке за ОПП .....</i>	<i>182</i>
<i>Табела 23: Средња вредност корелације међу променљивим - ниво развијености .....</i>	<i>183</i>
<i>Табела 24: Поређења МСП и великих предузећа - ниво развијености ОПП.....</i>	<i>185</i>
<i>Табела 25: Корелација између индикатора - ниво развијености, ниво задовољства перформансама производње и степен потребне подршка.....</i>	<i>186</i>
<i>Табела 26: Корелација између променљивих - појединачне димензије нивоа развијености, ниво задовољства перформансама производње и степен потребне подршке .....</i>	<i>187</i>
<i>Табела 27: Поређење МСП и великих предузећа - ниво развијености ОПП.....</i>	<i>187</i>
<i>Табела 28: Укупан број генерисаних резултата претраге по кључним речима .....</i>	<i>195</i>
<i>Табела 29: Квантитативни подаци селектованих радова – тема научног рада.....</i>	<i>196</i>
<i>Табела 30: Квантитативни подаци селектованих радова - назив часописа .....</i>	<i>196</i>
<i>Табела 31: Квантитативни подаци селектованих радова - методологија .....</i>	<i>197</i>
<i>Табела 32: Квантитативни подаци селектованих радова - година публикавања .....</i>	<i>197</i>
<i>Табела 33: Квалитативна анализа селектованих радова – производни ресурси МСП.....</i>	<i>199</i>
<i>Табела 34: Квалитативна анализа литературе – подршка МСП .....</i>	<i>200</i>
<i>Табела 35: Квалитативна анализа литературе – планирање производње у МСП.....</i>	<i>202</i>

<b>Табела 36:</b> <i>Квалитативна анализа литературе – Job Shop</i> .....	205
<b>Табела 37:</b> <i>Benchmark примери коришћени у анализи предложене хеуристике</i> .....	237
<b>Табела 38:</b> <i>Параметри симулације хеуристике генетски алгоритми</i> .....	237
<b>Табела 39:</b> <i>Табела са резултатима хеуристике која је развијена у дисертацији</i> .....	238
<b>Табела 40:</b> <i>Табела са најбољим резултатима хеуристике NSGA-II</i> .....	241
<b>Табела 41:</b> <i>Пример примене методе значајних разлика</i> .....	279
<b>Табела 42:</b> <i>Полазни подаци за примену методе за одређивање дужине оперативног периода</i> .....	280
<b>Табела 43:</b> <i>Табела одређивања дужине оперативног периода</i> .....	281
<b>Табела 44:</b> <i>Пример поступка решавања Job Shop проблема са GT алгоритмом.</i> .....	282
<b>Табела 45:</b> <i>GT алгоритам табела са оријентацијом на машине.</i> .....	282
<b>Табела 46:</b> <i>Решење у почетној популацији</i> .....	285
<b>Табела 47:</b> <i>Поступак декодирања уз помоћ GT алгоритма</i> .....	286
<b>Табела 48:</b> <i>Истраживачки упитник</i> .....	290
<b>Табела 49:</b> <i>Оцене педагошког рада сарадника Универзитета у Београду</i> .....	300

## СПИСАК СЛИКА:

<i>Слика 1: Структура дефинисаних хипотеза у дисертацији.....</i>	<i>14</i>
<i>Слика 2: Оквирни план истраживања докторске дисертације.....</i>	<i>16</i>
<i>Слика 3: Шематски приказ фаза управљања.....</i>	<i>34</i>
<i>Слика 4: Матрица планирања – основни објекти планирања и временски хоризонти.....</i>	<i>36</i>
<i>Слика 5: Процес планирања производње и пружања услуга.....</i>	<i>43</i>
<i>Слика 6: Основне активности планирања производних и услужних операција.....</i>	<i>46</i>
<i>Слика 7: Место планирања производње у процесу планирања у ланцу снабдевања.....</i>	<i>47</i>
<i>Слика 8: Типови производње - ниво залиха и утицај купаца на финални производ.....</i>	<i>61</i>
<i>Слика 9: Типови производње - организација производног процеса и тражња.....</i>	<i>61</i>
<i>Слика 10: Различите путање производа у Job Shop проблему.....</i>	<i>85</i>
<i>Слика 11: Пример путање у Flow Shop проблему.....</i>	<i>85</i>
<i>Слика 12: Графички модел, зависност типа „intree“.....</i>	<i>87</i>
<i>Слика 13: Графички модел, зависност типа „outtree“.....</i>	<i>87</i>
<i>Слика 14: Решење проблема распореда 3 производа на 4 машине - гантограм.....</i>	<i>99</i>
<i>Слика 15: Боље решење за распоред 3 производа на 4 машине – гантограм.....</i>	<i>99</i>
<i>Слика 16: Дисјунктни граф са неусмереним дисјунктним луковима.....</i>	<i>99</i>
<i>Слика 17: Решење представљено помоћу усмереног графа.....</i>	<i>100</i>
<i>Слика 18: Повезаност скупова различитих класа распореда.....</i>	<i>100</i>
<i>Слика 19: Недопустиви распоред са појавом циклирања.....</i>	<i>101</i>
<i>Слика 20: Критични пут у диграфу.....</i>	<i>101</i>
<i>Слика 21: Конјунктни лукови.....</i>	<i>112</i>
<i>Слика 22: Дисјунктни лукови.....</i>	<i>112</i>
<i>Слика 23: Пример дисјунктног графа за проблем JS, 3 производа на 4 машине.....</i>	<i>113</i>
<i>Слика 24: Граф <math>G'</math> – резултат полазног проблема распоређивања.....</i>	<i>113</i>
<i>Слика 25: Гантограм – решење полазног проблема Job Shop.....</i>	<i>114</i>
<i>Слика 26: Матрица производ-машина проблем FJS.....</i>	<i>120</i>
<i>Слика 27: Матрица производ-машина-радници проблем DRCFJS.....</i>	<i>124</i>
<i>Слика 28: Johnson-ов алгоритам.....</i>	<i>133</i>
<i>Слика 29: GT алгоритам за проблем Job Shop.....</i>	<i>143</i>
<i>Слика 30: Алгоритам методе премештања уских грла.....</i>	<i>146</i>
<i>Слика 31: Алгоритам методе локалног претраживања.....</i>	<i>147</i>
<i>Слика 32: Алгоритам за методу Табу претраживање.....</i>	<i>149</i>
<i>Слика 33: Алгоритам за методу Симулирано каљење.....</i>	<i>150</i>
<i>Слика 34: Псеудо код генетски алгоритми.....</i>	<i>154</i>
<i>Слика 35: Псеудо код Генетски алгоритми.....</i>	<i>155</i>
<i>Слика 36: Структура хромозома – операције, машине и радници.....</i>	<i>156</i>
<i>Слика 37: Декодирано решење у виду гантограма.....</i>	<i>156</i>



Слика 38: JBX размена редоследа операција.....	157
Слика 39: RPX размена додељених машина и радника .....	157
Слика 40: Мутације у редоследу операција.....	158
Слика 41: Мутације у распореду машина .....	158
Слика 42: Мутације у распореду радника .....	158
Слика 43: Алгоритам Методе променљивих околина .....	159
Слика 44: Пример проблема DRCFJS .....	161
Слика 45: Вектор редоследа операција и вектор додељених ресурса .....	161
Слика 46: Решење проблема DRCFJS примера у облику гантограма .....	161
Слика 47: Генерисање суседног решења – активности замене .....	162
Слика 48: Генерисање суседног решења – активности убацаивање.....	162
Слика 49: Генерисање суседног решења – активност додељивање.....	162
Слика 50: Генерисање суседног решења – активност промена.....	163
Слика 51: Кратак псеудо-код алгоритма NSGA-II .....	226
Слика 52: Пример једног хромозома.....	228
Слика 53: Истовремено кодирање радника и машина.....	228
Слика 54: Ток процеса алгоритма NSGA-II.....	229
Слика 55: Начин ажурирања података о временима трајања појединих операција.....	231
Слика 56: Приказ генетског оператора POX.....	233
Слика 57: MBM генетски оператор мутације.....	233
Слика 58: PBM генетски оператор мутације .....	234
Слика 59: Кратак приказ псеудо кода за $I_{distance}$ .....	236
Слика 60: Гантограм за пример решења проблема DFJSP01– приказ по машинама.....	239
Слика 61: Гантограм за пример решења проблема DFJSP01 – приказ по радницима .....	239
Слика 62: Решење у виду гантограма представљено у раду.....	242
Слика 63: Осам фаза успешног планирања подршке МСП.....	244
Слика 64: Предложени модел подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП.....	246
Слика 65: Гантограм за решење према GT алгоритму .....	282
Слика 66: Гантограм првог решења у почетној популацији .....	284
Слика 67: Гантограм другог решења у почетној популацији.....	284
Слика 68: Гантограм трећег решења у почетној популацији.....	284
Слика 69: Гантограм декодираног решења ( $s_1'$ ) у почетној популацији .....	288

## 1. УВОД

Ефикасан и ефективан процес планирања важан је пословни аспект сваког предузећа, коме је у данашњем конкурентском окружењу посвећена велика пажња и представља неопходност за опстанак на тржишту. У последњих неколико деценија мала и средња предузећа постала су предмет свеобухватних истраживања и преузела фокус у истраживању управљачких проблема у односу на велика предузећа, а све са глобалним циљем и задатком побољшавања положаја МСП и оснаживања економије производа и услуга малог обима високо прилагођене жељама купаца и крајњих кориснике. Посматрајући целокупан систем планирања, *Rue и Ibrahim* (1998), су показали да МСП имају низак ниво развијености система планирања, као и скромну софистицираност планова (*Rue & Ibrahim*, 1998). Слична ситуација је и код процеса планирања у појединим пословним функцијама. У посебном фокусу је планирање производње. Планирање производње је настало као инструмент за остваривање циљева производног процеса, као што је испоручивање неопходне количине финалних производа адекватног квалитета на правом месту у право време (*Augustine, Bhasi, & Madhu*, 2013). Методе и технике планирање производње у МСП су на скромном нивоу примене (*Stevenson*, 2009). Таква предузећа радије базирају своје производне планове на искуству запослених менаџера, него на примени софистицираних метода (*Verlinden, Cattrysse, Crauwels, & Van Oudheusden*, 2009). Као један од разлога слабе примене научног приступа у планирању производње у МСП, *Stevenson* (2009) наводи малу практичност примене метода на реалне примере у производњи МСП. Последице недовољне развијености система планирања у МСП, те и слабе примене савремених модела, квантитативних метода и техника, техничких средстава и организационих помагала (једном речју метауправљачких алата према *Омербеговић-Бијеловић*, (1998, стр. 54)) у планирању производње, могу се манифестовати кроз: 1. Незадовољавајући резултат управљања ресурсима МСП; 2. Слабе перформансе производног и пословног процеса; 3. Слабе перформансе управљања самим МСП (временска кашњења у реализацији производних и пословних активности, прекомерне залихе сировина, материјала и компоненти, недовршених производа – „производње у току“, као и готових

производа), те, последично, и 4. Неадекватно ангажовање новчаних средстава, неадекватно искоришћење капацитета (машина, алата, запослених и простора), одакле долазе и високи трошкови производње, па и умањена ценовна и друга конкурентност производа/услуга таквих МСП. Слабе перформансе производног процеса, дакле, могу изазвати неадекватну оствареност пословних резултата (високи трошкови, мали приходи и мала добит).

У самом процесу планирања производње, најближи процесу трансформације ресурса и стварању вредности је процес оперативног планирања производње. Процес оперативног планирања производње, са својим најзаступљенијим активностима распоређивања и терминирања, чини саставни део процеса управљања у свакодневном пословању како производних, тако и услужних предузећа. Дакле, ови процеси су једни од најзначајнијих фаза процеса оперативног планирања, у којој је потребно у одређеном временском периоду извршити алокацију ресурса на задатке, уз уважавање једног или више критеријума успешности. Пронаћи најбољи, тј. оптималан распоред и термин-план, представља веома комплексан проблем коме је у литератури и научним стручним радовима, посвећена велика пажња.

Помоћ у бољем управљању ресурсима МСП, као и у бољем оперативном планирању производње, могу пружити информациони системи за управљање – а тиме и за планирање ресурса – у предузећима, познати под називом *ERP* (енгл. *Enterprise Resource Planning*) системи (*Selcuk Kilic, Zaim, & Delen, 2015*). Међутим, сходно високим трошковима имплементације и коришћења *ERP* система, они представљају слабо достижну могућност за МСП (*Antoniadis, Tsiakiris, & Tsopogloy, 2015*). Поред тога, нека *ERP* решења немају могућност оптимизације у планерским проблемима у производњи (*Rakićević, Omerbegović-Bijelović, & Lečić-Cvetković, 2016b*). Као применљиво решење нуди се могућност даљег истраживања проблема оперативног планирања у МСП и развој подршке која је базирана на концепту адекватног оперативног планирања производње и управљања ресурсима уз употребу програмерских алата који уз адекватно знање могу постати доступни за МСП и унапредити управљање појединим процесима.

Производни системи, без обзира на њихову величину, треба да буду способни да

функционишу у динамичном окружењу и оскудним ресурсима, а улога менаџера је додељивање производних постројења упоредним активностима у времену уважавајући операциона ограничења и рокове испоруке, при чему трошкови ресурса треба да буду што мањи. Класични приступи у распоређивању нису адекватни када: 1) послови захтевају истовремено различите ресурсе, 2) када је неопходно успоставити баланс између достизања различитих циљева (као што су време, трошкови, равнотежа оптерећења). У таквим ситуацијама, софистициранији модели и алгоритми требало би да скрену пажњу менаџерима и руководиоцима производних предузећа (*Caramia & Dell'Olmo, 2006*).

Тема докторске дисертације односи се на истраживање концепта адекватне подршке за оперативно планирање производње и управљање ресурсима у МСП. Након дефинисаног домена процеса оперативног планирања производње (ОПП) и управљања ресурсима (УР), идеја је да се, намераваним испитивањем стања ОПП и УР у МСП, истражи и дефинише концепт адекватне подршке овим управљачким процесима. Намера је да се, на основу прегледа литературе и истраживањем праксе, из оперативног планирања производње, детектују проблеми из ОПП (превасходно проблеми распоређивања и терминирања) и УР, да се утврде начини, модели, методе и технике који се могу користити у њиховом решавању. Намера је и да се на основу: прегледа метода који се могу користити у решавању проблема оперативног планирања производње, утврђивања стварног стања нивоа развијености посматраног процеса (оперативног планирања производње) у МСП и могућности примене научног приступа у решавању посматраних проблема, реализује предложена идеја. Утврђивањем стварног стања – нивоа развијености посматраног система (оперативног планирања производње) у МСП у Србији и указивањем на могућности примене научног приступа у решавању посматраних проблема, реализује се предложена идеја.

Намена ове докторске дисертације, поред приказа завршног научно-истраживачког рада аутора на докторским студијама, је и да информише менаџере и власнике МСП о могућностима за побољшавање процеса оперативног планирања производње и управљања ресурсима. Такође, сврха дисертације је и упознавање људи који се баве науком и истраживањима, са тематиком једног од значајнијих проблема у планирању производње.

Операциони менаџери се, током целокупног управљачког процеса у производњи и пружању услуга, сусрећу са проблемом оперативног планирања и распоређивања, чије решење представља императив успешног рационалног пословања. Оперативно планирање производње је планирање активности које би требало обавити у оперативном, краткорочном периоду (Омербеговић-Бијеловић, 2010, стр. 144–146). Оно, најчешће, обухвата: а) Планирање краткорочних потреба за производњом, па и за производним ресурсима и њиховим капацитетима; б) Планирање технологије (редоследа операција) и распореда производње производа/делова по машинама (асигнација или распоређивање послова по радним местима); в) Терминирање, тј. одређивање рокова за почетак и завршетак рада - на изради делова и на монтажи подсклопова, склопова и производа; г) Планирање распоређивања извршилаца на активности у пружању услуга; д) Планирање лансирања послова и потребних ресурса у производњу; ђ) Планирање припреме материјала, алата и документације неопходне за производни процес.

Проблеми распоређивања и терминирања су један од најчешће истраживаних проблема из домена процеса оперативног планирања у свакодневном пословању производних и услужних предузећа (*Chaudhry & Khan, 2016; Jain & Meeran, 1999; Sharma & Jain, 2016*). Под проблемом распоређивања у производњи и пружању услуга сматра се просторни и временски распоред извршавања производних или услужних активности, као и дефинисање потребних ресурса за извршавање тих активности (*Błażewicz, Ecker, Pesch, Schmidt, & Weglarz, 2007*). Такви проблеми распоређивања у реалним случајевима су великих димензија и најчешће *NP*-тешки проблеми, па се за њихово решавање (због немогућности примене ефикасних егзактних метода) најчешће користе једноставне хеуристике, у виду дефинисаних правила распоређивања, као и сложене хеуристике, у виду метода локалног претраживања или вештачке интелигенције.

Посебно место у докторској дисертацији посвећено је проблему распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње малог обима, у страниј литератури је познат под енглеским термином *Job Shop* проблем. *Job Shop* проблем карактерише тип производног процеса у коме се производе мале количине различитих производа, према наруџбини и мери потрошача. Овај тип производње представља и почетни модел организације производног процеса

новооснованих малих предузећа (предузетничких подухвата у производњи).

У производном току, већина производа производе се са јединственим редоследом корака у процесу обраде. Математички посматрано, *Job Shop* проблем је познат и као проблем распоређивања  $n$  производа на  $m$  машина, при чему сваки производ има различит и унапред одређен редослед обраде (*Pinedo, 2009*, стр. 83). *Job Shop* карактерише процесно-организовану производњу, познату као „прекидна“ или „радионичка“ производња. Такав облик организације производног процеса карактеристичан је за производне радионице и фабрике које производе велики број различитих производа малог обима производње, тзв. производи према поруцбини, који захтевају обраду на различитим машинама. То је тип производње великог варијетета, а малог обима, који се често среће у малим и средњим производним организацијама (*Stevenson, Hendry, & Kingsman, 2005*). Он пружа највећу флексибилност производним предузетницима – у прављењу различитих производа за задовољавање потребе купаца, са адекватним квалитетом производа и услужним стандардима (*Inc. Magazine, 2016*). Овакав облик и организација производње доминирају у данашњим МСП.

У решавању бројних управљачких проблема из операционог менаџмента значајан допринос дала су операциона истраживања. Различите методе оптимизације и симулације отвориле су нове путеве ка решавању ових проблема квантификујући поједине резултате и рангирајући различита решења управљачких проблема. Због тога се у овом раду посебна пажња посвећује квантитативном приступу у решавању ових проблема. Међутим, услед динамичности савременог пословања (која доводи до брзих промена околности у којима предузеће послује), добијена решења у прошлости често не задовољавају ни тренутне захтеве система (тј. нова ограничења у моделу), те се сам процес моделовања проблема из домена операционог менаџмента не може замислити без употребе савремених информационо-комуникационих технологија. Сам процес распоређивања у производњи и пружању услуга захтева изузетно познавање техника математичког моделовања из области операционих истраживања, као и вештине програмирања комплексних алгоритама у програмским језицима. Менаџери који не поседују таква знања могу користити већ постојеће рачунарске програме за решавање проблема распоређивања.

Пажња и фокус истраживања у докторској дисертацији би се могао посветити свакој од наведених активности процеса оперативног планирања производње: планирање краткорочних потреба за производњом и производним ресурсима; планирање редоследа и распореда операција производње производа/делова по машинама; терминирање, тј. одређивање рокова за почетак и завршетак рада - на изради производа и његових делова; планирање распоређивања извршилаца на производним и услужним активностима; планирање лансирања послова и потребних ресурса у производњу; планирање припреме материјала, алата и документације неопходне за производни процес. Пажња разматрања на коју ће у највећој мери ограничити докторска дисертација јесте проблем распоређивања и терминирања производње. У том смислу, наводе се неки од најзаступљенијих приступа и њихових метода у решавању проблема распоређивања и терминирања. Од посебне важности код ових проблема јесте проблем проналажења оптималног оперативног плана тј. плана распореда и редоследа послова.

За разлику од научног приступа, у пракси се и данас, у великом броју случајева, с обзиром на његову сложеност, овај проблем решава на основу субјективних искустава појединаца који раде на пословима расподеле посла или применом једноставних правила приоритета. Рокови завршетка производних активности као и испоруке крајњем кориснику се такође одређују напамет, према искуствима појединаца који раде на тим пословима. Међутим, одређивање редоследа и терминирање је данас наука која употребљава и примењује напредне математичке методе и алгоритме. Оптималан распоред послова и производа може утицати на ефикасност производних система и његових индикатора перформанси: Раст укупних ефеката производних система, минимизација одступања од тражених рокова, смањење циклуса производње, смањење међу-операцијских залиха, смањење застоја у производњи, повећање степена искоришћења капацитета, уравнотежење процеса производње. Адекватним решавањем проблема распоређивања и терминирања и шире адекватним оперативним планирањем може се остварити концепт правовремености (енгл. *Just-in-Time*) и тиме повећати успешност производног процеса. На првом месту ту је смањење трошкова залиха, кроз нижи ниво залиха и повећање прихода преко вишег нивоа реализованих поруџбина.

Докторска дисертација је организована из осам делова. Након уводног дела у другом делу дисертације је представљен нацрт научне замисли истраживања са дефинисаним предметом истраживања, циљем истраживања, хипотезама у истраживању, научним методама истраживања, очекиваним научним доприносом истраживања и структуром рада.

У трећем делу дисертације се представљају основне теоријске поставке чију суштину чине мала и средња предузећа (МСП): појам и дефиниције, подршка МСП и специфичности планирања и управљања у МСП.

Четврти део дисертације фокусиран је на процес оперативног планирања производње и управљања производним ресурсима у производном процесу. Најпре се представља концепт планирања производње и пружања услуга. Затим се дефинише концепт управљања ресурсима. Након тога се наводе карактеристике и типови производних операција. Описује се домен процеса оперативног планирања производње, као и његове специфичности за мала и средња предузећа. Описане су активности и проблеми у оперативном планирању производње, са посебним нагласком на проблеме распоређивања и терминирања. Представљене су и методе које се користе у решавању проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње. Дефинисана је и специфичност оперативног планирања производње у МСП.

У петом делу докторске дисертације се најпре представљају методе које се користе као подршка решавању проблема распоређивања у оперативном планирању производње. Након тога дефинисан је појам нивоа развијености оперативног планирања производње (ОПП), представљена је методологија за мерење нивоа развијености ОПП и потреба МСП за подршком у том домену. Након тога у овом делу су презентовани резултати истраживања нивоа развијености оперативног планирања производње у предузећима у Србији. У наставку у овом делу дисертације је, кроз анализу могућности за унапређење подршке оперативном планирању производње, представљен преглед литературе преко кључних појмова: планирање производње, оперативно планирање производње, подршка МСП, управљање ресурсима. У оквиру прегледа литературе дефинисана је методологија у истраживању литературе, начин прикупљања



научних радова са описом базе научно-истраживачких радова, увид у садржај научних радова. Након прегледа по кључним појмовима, извршена је квантитативна и квалитативна анализа резултата претраге. Преглед литературе са њеном анализом дао је основу за критички осврт на досадашње резултате истраживања. У том делу су претходно анализирани и могућности за научни допринос у докторској дисертацији. Адекватан преглед литературе пружио је основу за избор проблема у оквиру оперативног планирања производње (*DRCFJS*) и представљена је подршка у виду начина решавања проблема заснованог на научном приступу. На крају петог дела је представљен шири концепт развоја подршке оперативном планирању производње МСП.

Шести део рада представља закључак рада, а након тога је дат приказ литературе која је коришћена и цитирана у самој докторској дисертацији. Литература докторске дисертације обухвата 268 референци, од чега велики део представљају актуелни радови из научних часописа. Након литературе дати су прилози са примерима неких, у дисертацији обрађених, метода (Прилог 1). Прилоге чини и приказ упитника који је коришћен у истраживању нивоа развијености оперативног планирања производње у МСП (Прилог 2). У прилогу докторске дисертације налази се и биографија аутора са списком објављених радова (Прилог 3), изјава о ауторству (Прилог 4а), изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације (Прилог 4б) и изјава са списком објављених радова (Прилог 4в).

## **2. НАЦРТ НАУЧНЕ ЗАМИСЛИ ИСТРАЖИВАЊА У ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Након уводног дела докторске дисертације у овом делу представљен је нацрт научне замисли истраживања. Према методологији научних истраживања (Михаиловић, 2012, стр. 86), нацрт научне замисли истраживања обухвата дефинисање: предмета истраживања, циља истраживања, полазне хипотезе у истраживању, методе и начина истраживања, научне и друштвене оправданости истраживања, очекиваног доприноса истраживања, као и предложене структуре докторске дисертације.

### **2.1. Предмет истраживања**

**Проблем истраживања** који је приказан у докторској дисертацији је дефинисање и опис домена савременог оперативног планирања производње, затим потребе и могућности унапређивања оперативног планирања производње и управљања ресурсима у малим и средњим предузећима (МСП), у циљу повећавања квалитета планирања и комплетног управљања, као и ради повећавања конкурентности и успешности МСП.

**Предмет истраживања** докторске дисертације је подршка активностима оперативног планирања производње у МСП. Дефинисање потреба за подршком оперативном планирању производње је засновано на истраживању (на узорку МСП у Србији) нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима и на истраживању потреба предузетника, власника и менаџера МСП за подршком у тим областима. Сама основа система (организације и процеса) пружања подршке је у примени савремених концепата и научно-заснованих метода (и других метауправљачких алата) у решавању проблема распоређивања у оперативном планирању производње МСП.

Такође предмет истраживања у докторској дисертацији је и утврђивање концепта адекватне подршке за оперативно планирање производње и управљање ресурсима у малим и средњим предузећима. Дефинисани концепт је заснован на јасно дефинисаном проблему, на основу истраживања литературе, а затим и на утврђивању начина како се идентификовани проблем може решити и отклонити

уз примену научно-заснованих метода. Подршка оперативном планирању производње је дефинисана двојачко, преко активности подршке које треба да допринесу унапређењу стања процеса оперативног планирања производње, али и преко модела, метода и техника за подршку у решавању проблема оперативног планирања производње (најпре: распоређивања и терминирања) и у решавању проблема у управљању ресурсима МСП.

Предмет истраживања докторске дисертације је и дефинисање могућности и услова примене предложеног концепта подршке МСП у решавању проблема оперативног планирања производње и управљања ресурсима: обима и приоритета послова, *ad hoc* распоређивања послова по радним местима, занемареног терминирања (одређивања термина за започињање и завршавање послова, уз присутно ограничење рокова, тј. временског ресурса), а све путем истраживања спроведеног на узорку МСП.

Под проблемом распоређивања и терминирања у производњи и пружању услуга сматра се просторни и временски распоред извршавања производних или услужних активности, као и дефинисање потребних ресурса за њихово извршавање.

У пракси оперативног планирања, одређивање оперативних количина и обима производње се јавља као компромис утицаја наручилаца, већ лансираних радних налога и већ лансираних нарудбеница (за набавку), резервисаних ресурса, расположивости ресурса (залиха, простора, новца, природе ресурса, издашности тржишта) и сл. У истом „пакету проблема“ налази се и одређивање приоритета послова, зато што клијенти и купци имају своју логику (без обавезе да планирају своје потребе и да, благовремено, наручују жељене робе), док произвођачи морају да воде рачуна и о детаљима какви су „припремно-завршна времена“, погодност ресурса за моменталну употребу“ и сл.

Проблем оперативног планирања у МСП се манифестује и кроз проблеме распоређивања и терминирања послова по радним местима. Распоређивање послова по радним местима представља проблем асигнације. У пракси се решава од стране технолога производње и сматра се фиксним решењем, (један тип машина обавља одређени тип операција). Но, како су многе машине најчешће у

некој мери и универзалне, тј. способне да уз одговарајуће алате обављају већи број операција, то је расподела послова по радним местима могућа на више начина уз поштовање технолошког редоследа операција. Поред проблема распоређивања, истовремено се јавља и проблем терминирања (распоређивања послова и производних активности који су додељени конкретним радним местима и у времену). Овај проблем се третира и као проблем редоследа операција, при чему се морају одредити тренуци започињања и завршавања операција на појединим пословима и на конкретним радним местима. Занемаривање терминирања, уз стално-присутно ограничење рокова, може озбиљно да угрози производни процес и пословање МСП.

За овај проблем постоје бројна, специјализована решења (*Pinedo, Chao, & Leung, 2010; Rakićević et al., 2016b*), али су она, за нове предузетнике и власнике производних МСП, најчешће недоступна (скупа, непримењива или превише комплексна за примену). Стога се предузетници и други менаџери операција и ресурса МСП обучавају у познавању и примени принципа додељивања приоритета пословима, чиме се: а) Повећава удео послова који се испуњавају благовремено; б) Уравнотежује се ангажовање ресурса; в) Унапређује се радна атмосфера, продуктивност и др.

Из наведених разлога, важно је дизајнирати адекватну подршку решавању проблема распоређивања и терминирања, и то такву да буде разумљива и атрактивна за МСП, тј. за његове осниваче, менаџере, планере и друге заинтересоване групе.

## **2.2. Циљ истраживања**

**Циљ истраживања** у овој докторској дисертацији је да се најпре, кроз преглед доступне научне и стручне литературе, сагледају, анализирају, опишу и класификују постојећа знања о проблемима из домена оперативног планирања производње и управљања ресурсима у малим и средњим предузећима. Такође, циљ истраживања је и сагледавање нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима МСП у Републици Србији, као и дефинисање адекватног начина за пружање подршке МСП у оперативном планирању производње и у ефикасном управљању ресурсима (кроз ефикасно решавање

проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима).

Циљ истраживања се може посматрати кроз научну и друштвену димензију:

**Научни циљ истраживања** се огледа у представљању и указивању на потребе, као и могућности и начине примене нових, научно-заснованих метода за решавање проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње и у управљању ресурсима МСП. Научни циљ истраживања се односи и на достизање и проширивање одређеног нивоа научног сазнања у области науке о менаџменту (научне дисциплине: управљање производњом, управљање МСП, управљање ресурсима, операциони менаџмент).

**Друштвени циљ истраживања** се огледа у проналажењу адекватне подршке за мала и средња предузећа, која има за циљ побољшавање нивоа развијености оперативног планирања и управљања ресурсима МСП. Подршка за унапређивање оперативног планирања производње може допринети унапређивању целог систем планирања у МСП, а тиме и повећању њихове економске успешности.

Истраживање, које ће се приказати у докторској дисертацији, има за резултат и допринос у премошћавању јаза између истраживања теоријских сазнања и практичних примена у реалним проблемима оперативног планирања и управљања ресурсима МСП.

С обзиром на постављене циљеве истраживања, дефинисани су и **задачи истраживања** који су приказани у оквирима докторске дисертације:

- Анализа досадашњих истраживачких резултата научне области управљање производњом, за научне проблеме: оперативно планирање производње и управљање ресурсима у МСП;
- Дефинисање истраживачког упитника за утврђивање нивоа развијености оперативног планирања (ОПП) и управљања ресурсима (УР) у производним МСП, као и за утврђивање потреба за подршком у области ОПП и УР;
- Опис проблема распоређивања и терминирања који је карактеристичан за оперативно планирање производње и управљање ресурсима МСП;
- Дефинисање приступа у моделирању и решавању проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима (која је карактеристична за МСП);
- Преглед различитих приступа и метода у решавању проблема распоређивања

- и терминирања у оперативном планирању производње, управљања ресурсима, и дефинисање модела подршке и могућности примене у МСП;
- Опис проблема распоређивања и терминирања који је карактеристичан за оперативно планирање производње и управљање ресурсима МСП;
  - Развој концепта подршке у домену оперативног планирања производње и управљања ресурсима МСП.

### **2.3. Полазне хипотезе у истраживању**

На основу дефинисаних предмета, циљева и задатака истраживања, као и на основу анализе доступне релевантне литературе, дефинисане су опште и посебне хипотезе докторске дисертације, које ће у раду бити потврђене или оповргнуте:

Општа хипотеза:

X(0): Потребно је и могуће, системом подршке, побољшати оперативно планирање производње и управљање ресурсима у малим и средњим предузећима.

Посебне хипотезе које се дефинишу на основу опште хипотезе су:

X(1): Малим и средњим предузећима је потребна подршка у домену оперативног планирања производње и управљања ресурсима.

X(2): Могуће је, путем подршке, унапредити оперативно планирање производње и управљање ресурсима у МСП.

Појединачне хипотезе које се дефинишу на основу посебних хипотеза су:

X(1.1): Могуће је дефинисати специфичности производних малих и средњих предузећа и њихове савремене карактеристике.

X(1.2): Могуће је дефинисати домен оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП.

X(1.3): Оперативно планирање и управљање ресурсима у МСП, у пракси, није на адекватном нивоу развијености.

X(1.4): Постоји потреба МСП за подршком у области оперативног планирања и управљања ресурсима.

X(2.1): Научно окружење располаже идејама и алатима за побољшање оперативног планирања производње и управљања ресурсима.

X(2.2): Могуће је дефинисати концепт подршке оперативном планирању

производње и управљању ресурсима МСП.

X(2.3): Проблем распоређивања и терминирања представља један од значајних проблема у оперативном планирању производње, чијим адекватним решавањем је могуће унапредити оперативно планирање производње и управљање ресурсима.

X(2.3.1): Могуће је дефинисати проблем распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње МСП.

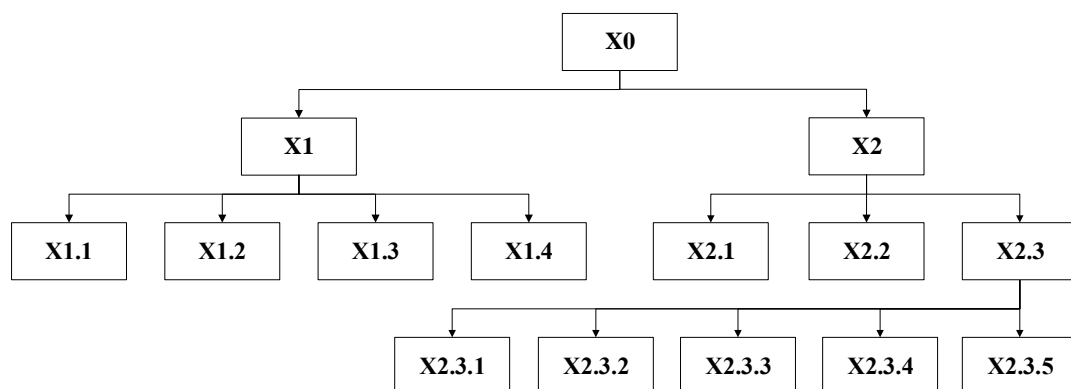
X(2.3.2): Могуће је моделовати проблем распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње МСП.

X(2.3.3): Могу се дефинисати критеријуми за мерење успешности решавања проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње МСП.

X(2.3.4): Постоје различити приступи за решавање проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње МСП.

X(2.3.5): Развојем методе за решавање проблема распоређивања и терминирања, могуће је унапредити процес оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП.

Структура хипотеза је представљена даље на Слици 1.



Слика 1: Структура дефинисаних хипотеза у дисертацији

## 2.4. Методе и начин истраживања

Научне методе истраживања које су коришћене у докторској дисертацији се даље наводе према групама:

Од општих научних метода коришћене су:

- Метода математичког моделовања за потребе развоја нових модела проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње;
- Статистичка и компаративна метода за истраживање успешности начина формирања модела проблема и доласка до решења. Статистичка метода за обраду и анализу података прикупљених у истраживању нивоа развијености оперативног планирања производње МСП (дескриптивна статистика, параметарске и непараметарске технике).

Од посебних метода научног истраживања (Шешић, 1982), коришћене су:

- Анализа прикупљене литературе кроз претраживање и преглед постојећих научно-истраживачких радова, научних часописа, како би се истражила потреба за унапређивањем процеса оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП;
- Синтеза и генерализација приликом формирања закључака из оствареног прегледа, критички осврт на релевантне приступе;
- Методе индукције и дедукције, приликом формирања закључака на основу оствареног прегледа доступне литературе.

Као методе прикупљања података у истраживању коришћено је следеће:

- Метода дескрипције, тј. квалитативног описа посматраног проблем, метода класификације појединих проблема и његових карактеристика у групе;
- Метода испитивања, техника анкета, за утврђивање нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП, као и за утврђивање потреба власника/менаџера МСП за подршком из окружења;
- Метода посматрања у реалним производним процесима у проналажењу адекватних улазних података за модел проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње;
- Метода експеримента и симулације над различитим улазним подацима.

Наведене методе коришћене су при анализи и систематизацији прикупљене научне и стручне литературе, за доказивање оправданости предложених праваца истраживања у докторској дисертацији, као и за тестирање дефинисаних хипотеза у докторској дисертацији.



## 2.5. Очекивани научни допринос

Очекивани допринос истраживања докторске дисертације огледа се у:

- Систематизацији до сада објављених истраживања у проучаваним областима (оперативно планирање производње и управљање ресурсима МСП) и у критичком осврту на анализирани приступе и релевантна решења посматраних проблема;
- Предлозима за унапређење постојећих приступа у проучаваној области;
- Дефинисању дијагностичког алата - у виду истраживачког упитника за мерење нивоа развијености оперативног планирања у производним МСП и за утврђивање потреба власника/менаџера МСП за подршком из окружења;
- Прегледу резултата истраживања нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП Србије;
- Приказивању резултата истраживања које представљају потребу за подршком оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП;
- Дефинисању модела подршке за оперативно планирање производње у МСП и управљање ресурсима;
- Моделовању проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње и развој метода решавања - као саставни део дефинисаног концепта подршке;

## 2.6. План истраживања

Оквирни план истраживања за потребе израде докторске дисертације, дефинисан према фазама, приказан је на Слици 2.

ФАЗА	2017												2018				
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	

Слика 2: Оквирни план истраживања докторске дисертације

- Фаза 1.** Прикупљање релевантне литературе;
- Фаза 2.** Анализа доступне литературе, дефинисање предмета истраживања, опис посматраног проблема истраживања, опис различитих постојећих приступа у решавању посматраног управљачког проблема, формирање критичког осврта на постојеће приступе;
- Фаза 3.** Дефинисање истраживачког упитника за мерење нивоа развијености оперативног планирања у малим и средњим предузећима и спровођење истраживања;
- Фаза 4.** Истраживање могућности за нове приступе у решавању проблема оперативног планирања производње и управљања ресурсима МСП;
- Фаза 5.** Дефинисање концепта адекватне подршке оперативном планирању производње МСП;
- Фаза 6.** Избор адекватног приступа у моделовању проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње;
- Фаза 7.** Развој алгорита за решавање проблема распоређивања и терминирања;
- Фаза 8.** Прикупљање потребних података за спровођење експеримента;
- Фаза 9.** Спровођење експеримента и евалуација добијених решења;
- Фаза 10.** Писање докторске дисертације.

## **2.7. Опис садржаја рада**

Након уводног дела и дела о нацрту научне замисли истраживања у докторској дисертацији, у трећем делу представљају се основне теоријске поставке за задате кључне појмове: МСП, подршка МСП, управљање МСП. Осим тога, наглашава се и важност МСП, као и њихове карактеристике и проблеми, а посебно се истичу карактеристике производних МСП.

Четврти део докторске дисертације представља оперативно планирање производње и управљање ресурсима у производним предузећима. У овом делу се прво описују појмови: планирање производње и пружања услуга и управљање ресурсима. Затим се дефинишу карактеристике и типови производних операција, имајући у виду да на процес оперативног планирања производње веома утичу поменуте карактеристике. Онда се описује домен оперативног планирања производње са својом структуром и процесима, као и планерским проблемима

који се јављају у овом процесу. Због тога што је процес оперативног планирања производње у непосредној вези са ангажовањем различитих ресурса у предузећу, описује се и домен процеса управљања ресурсима. У процесу оперативног планирања производње и управљања ресурсима описују се неки од основних проблема (проблем распоређивања, проблем терминирања, проблем међу-операционих залиха и проблем одређивања дужине трајања оперативног периода). Након дефинисаних проблема наводе се могућности решавања преко дефинисања комплексности проблема, а потом се наводе и методе за решавање. У оквиру овог дела дисертације представљају се и специфичности оперативног планирања производње и управљања ресурсима који су карактеристични за МСП. Детаљно се описује проблем распоређивања и терминирања у производњи малог обима, и представља његов математички модел. Такође, описује се и концепт правремености (енгл. *Just-in-Time*) у распоређивању и терминирању.

Пети део докторске дисертације представља подршку оперативном планирању производње у МСП. На почетку овог поглавља наводе се методе које могу пружити подршку у решавању проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима (у странијој литератури познат под енглеским називом *Job Shop*). Ту спадају неке од познатих метода: правила приоритета, *Giffler & Thompson (GT)* алгоритам листе, хеуристика премештања уских грла, метода локалног претраживања, табу претраживање, симулирано каљење, генетски алгоритми, метода променљивих околина. У овом делу дисертације дефинисан је појам развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима, и представљена је методологија за мерење нивоа развијености. Дефинисана је и подршка МСП намењена повећавању, тј. побољшавању нивоа развијености из домена оперативног планирања производње и управљања ресурсима. Потом су представљени резултати спроведеног истраживања мерења нивоа развијености процеса оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП у Републици Србији. Овај део докторске дисертације садржи и преглед литературе који је заснован на систематичном методу претраживања, селекције, и анализе научних радова. У прегледу литературе су дефинисана актуелна достигнућа, трендови, као и неистражени проблеми од значаја за подршку МСП у оперативном планирању производње и управљању ресурсима. На основу детаљне

анализе базе научних радова, дат је и критички осврт на досадашње резултате истраживања. Критички осврт обухвата: анализу могућности за унапређивање решавања проблема оперативног планирања и управљања производним ресурсима у МСП, анализу метода решавања проблема распоређивања и терминирања, анализу могућности развоја модела подршке оперативном планирању производње и управљања ресурсима у МСП. Након критичког осврта у докторској дисертацији представља се модел проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње малог обима *DRCFJS* (енгл. *Dual Resource Constrained Flexible Job Shop*), за који је развијена метахеуристика генетских алгоритама *NSGA-II* (енгл. *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II*), која се користи у решавању тог проблема. На крају поглавља представља се концептуални модел подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП који је развијен у овој докторској дисертацији.

У шестом делу даје се закључак. Потом се представља списак коришћене литературе, као и прилози у дисертацији. Прилог 1 чини приказ метода које се користе у оперативном планирању производње (приказ примене методе значајних разлика, методе за утврђивање времена покривености тражње залихама за одређивање дужине трајања оперативног периода, примена *Giffler-Thompson (GT)* алгорита, примена генетских алгоритама на проблему *Job Shop*). Прилог 2 представља садржај упитника за мерење нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП. Прилог 3 чини биографија аутора заједно са библиографијом радова. Прилог 4а представља Изјаву о ауторству, а Прилог 4б Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада. Прилог 4в даје Изјаву о коришћењу докторске дисертације у дигиталном репозиторијуму.

### 3. МАЛА И СРЕДЊА ПРЕДУЗЕЋА

У овом делу докторске дисертације дефинисани су основни појмови који се односе на мала и средња предузећа (МСП), њихове карактеристике и специфичности, проблеме и подршку која им се пружа. Поред тога, представљене су специфичности управљања и планирања у МСП. Посебно су наведене специфичности производних МСП.

Предузеће (или правно речено привредно друштво) се може дефинисати као пословни ентитет или организација чија је основна сврха и делатност да производи производе или пружа услуге. МСП је синтагма често коришћена да се назове посебан тип предузећа, којима је у неколико деценија XX и XXI века дат изузетан значај. Последњих година, појам и категорија МСП је проширен и са подкатегијом микро предузећа, па се сада ова група предузећа означава као микро, мала и средња предузећа. МСП су означена као: покретач развоја националне и светске привреде (*Spicer & Sadler-Smith*, 2006, стр. 134), највећи потенцијал самозапошљавања и генератор нових радних места, предузећа која имају велики утицај у националном, регионалном и локалном развоју средина у којима се налазе и која све више добијају карактер интернационалних предузећа која послују на глобалном тржишту. Она представљају и моћан начин организовања појединаца и привредних субјеката, са циљем запошљавања и спречавања иселјавања људи из економски пасивних географских области (често из руралних области).

Важност МСП за економију Републике Србије, као и шире – Европску унију (ЕУ) је велика. Највећи део (око 99.8 [%] укупног броја) предузећа у Србији, Европи и свету чине МСП. Значај сектора МСП у Србији и ЕУ огледа се у следећем. Сектор МСП обухвата 99.8[%] свих предузећа у Србији и генерише 64.8[%] запослених, 65.4[%] промета и 56[%] бруто додатне вредности (*Sertić*, 2015, стр. 3). МСП у Европској унији (ЕУ-28) чине 99.8[%] свих предузећа, и запошљавају 66,8[%] запослених у нефинансијском сектору и обезбеђују 57,4[%] бруто додате вредности (*Muller et al.*, 2016). Са аспекта критеријума броја запослених и бруто додате вредности, производни сектор МСП у ЕУ-28 представља други по значајности (одмах после трговине на велико и мало).

### 3.1. Појам малих и средњих предузећа

МСП представљају централни стуб Европске економије са значајним доприносом бруто домаћем производу (*Heck & Vettiger, 2014*). Због неусаглашености критеријума о величини, међу различитим државама и међу различитим индустријским секторима, МСП је лакше описати него дефинисати (*Beaver, 2002, стр. 2*). Да би отклонила недоумице у вези са националним критеријумима разврставања, Европска комисија је дала своју дефиницију, прописала критеријуме и њихове величине за дефинисање и разврставање малих и средњих предузећа. Последњу промену дефиниције појма МСП, Европска комисија је усвојила 01.01.2005. као нову класификацију МСП на микро, мала и средња предузећа (*European Commission, Enterprise and Industry Publication, 2005*), а према финансијским и нефинансијским критеријумима. У ову категорију спадају предузећа која имају мање од 250 запослених и чији годишњи промет не прелази 50 милиона евра или чија укупна актива (приказана у годишњем билансу стања) не прелази 43 милиона евра. Критеријуми за подкатегоризацију у оквиру категорије МСП су дати на основу вредности критеријума из Табеле 1. При дефинисању МСП, Комисија Европске уније је, први пут, увела и критеријум самосталности предузећа и дозволила предузећима чији је један део власништва у поседу других организација (пословних анђела, регионалних фондова, компанија које улажу свој капитал у нове подухвате, универзитета и непрофитних истраживачких центара), да се сврстају у категорију МСП. Више информација се може пронаћи у Водичу Европске комисије (*European Commission, Enterprise and Industry Publication, 2005*).

Поред форме књиговодствене дефиниције МСП, присутне су и практичније дефиниције за одређивање целе групе. Према Омербеговић-Бијеловић (2010, стр. 246), мало предузеће је предузеће које испуњава барем два од четири наведена услова: 1) Власништво и контрола над предузећем се налази у рукама власника; 2) Капитал набавља појединац или мала група људи; 3) Послови предузећа су локални, а радници и менаџери живе у истом географском подручју; 4) Према броју запослених, вредности капитала, приходу су значајно мања у поређењу са највећима у предметној делатности.

**Табела 1:** Разграничење микро, малих и средњих предузећа у ЕУ

Извор: *European Commission, Enterprise and Industry Publication* (2005, стр. 14)

Категорија предузећа	Број запослених	Годишњи промет	Укупна годишња актива (по Билансу стања)
Средње	до 250	до 50 милиона €	до 43 милиона €
Мало	до 50	до 10 милиона €	до 10 милиона €
Микро	до 10	до 2 милиона €	до 2 милиона €

Овакво разграничење МСП је резултат посматрања квантитативних рачуноводствених података, при чему се не прави разлика између производних и непроизводних МСП као ни специфичности појединих делатности.

МСП чине хетерогену групу предузећа, различите величине и старости, делатности, локације, потенцијала за раст, коју воде власници-менаџери са различитим способностима и различитом мотивацијом (*Johnson, Webber, & Thomas, 2007*). МСП нису мала реплика великих компанија, она су веома различит тип организације са својим индивидуалним специфичностима (*Augustine et al., 2013, стр. 30*). И поред своје различитости и специфичности сваког од њих, МСП имају многе заједничке карактеристике (*Лазих-Рашовић & Омербеговић-Бијеловић, 2006; Augustine et al., 2013; Rakićević, Omerbegović-Bijelović, & Lečić-Cvetković, 2016a*):

- **Оскудност пословних ресурса** - За разлику од великих предузећа, која обилују ресурсима сваке врсте, управљање МСП је уз мање ангажовање ресурса (*Augustine et al., 2013, стр. 30*). У погледу ресурса највећи проблем код МСП изазивају новчана средства (*Augustine et al., 2013, стр. 5*), нестабилни токови новца и недостатак капацитета материјалних ресурса за производњу и пружање услуга. Недостатак новчаних и материјалних ресурса уједно, представља најавећи проблем (*Stevenson, 2009; Augustine et al., 2013, стр. 5*) и најчешће коришћен изговор и оправдање за проблеме и неуспехе у МСП (*Rakićević et al., 2016a*). Имајући у виду таква ресурсна ограничења, мала предузећа морају да послују ефикасније од великих, тачније да строго пазе на рационалност у свом пословању (трошкови, брзина обртања капитала, кратки циклусе производње и размене). На основу тога може се рећи да употреба свих метода које за циљ имају снижавање трошкова и повећавање

ефикасности могу бити од користи. Поред оскудице материјалних ресурса, слично је и са интелектуалним, тј. људским ресурсима: квалификациона структура запослених у МСП је оскудна, па се очекује већи допринос запослених у свим сегментима пословања. Оскудна су знања и између запослених, као и дефицит менаџерске експертизе (*Hudson Smith & Smith, 2007*); МСП, поседују ограничене ресурсе за тренинг и развој запослених (*Dowlatshahi & Taham, 2009*). Као и прецизна детаљна знања о тржишту и производима њихових великих купаца (*Dowlatshahi & Taham, 2009*). Такође, МСП имају ограничене ресурсе за улагање у нову опрему и технологију (*Dowlatshahi & Taham, 2009*). Недостатак ресурса малих и средњих предузећа представља њихово основно пословно ограничење. Недостатак ресурса, *Hudson Smith* и *Smith* (2007) називају сиромаштво у ресурсима (енгл. *Resources Poverty*). Ова карактеристика се касније рефлектује и на остале карактеристике МСП;

- **Власништво и менаџмент** су, најчешће, обједињени. Централизовано и аутократско управљање (*Augustine et al., 2013*, стр. 30), МСП су у власништву појединца или мале групе (породице). Власник предузећа је, у великом броју случајева, и менаџер предузећа а одлуке се доносе на нивоу појединца или мале групе (*Dowlatshahi & Taham, 2009*). Како успех предузећа, у великој мери, зависи од личности менаџера, сам власник предузећа може бити од пресудног значаја за пословање, па и опстанак свог предузећа;
- **Организациона структура** малих и средњих предузећа је плитка, врло често нејасна и неформална (*Hudson Smith & Smith, 2007; Augustine et al., 2013*, стр. 5), послови и позиције запослених нису прецизно дефинисани; организовање се врши око људи, а не око радних места. Недовољна специјализованост управљања пословним активностима, због малог броја запослених. Не постоје прецизно дефинисане функције у организационој структури. Једноставна и флексибилна интерна комуникација. Комуницирање је најчешће путем директног контакта између малог броја запослених у конкретном МСП, а међусобни односи између запослених и послодавца највише утичу на продуктивност рада. Услед једноставне организационе структуре врло су прилагодљива организационим променама. Мала и средња



предузећа су будућност форми организовања рада, јер су: прилагодљива и адаптирају се новим условима и променама уопште; релативно лако се њима управља, са малим бројем хијерархијских нивоа, мало људи (Омербеговић-Бијеловић, 2000);

- **Тржишна специјализованост** - Мала предузећа су специјализована у својој делатности (Омербеговић-Бијеловић, 2000) и најчешће послују у оквиру тржишних ниша за које развијају своје конкурентске способности. Производи најчешће нису намењени за масовна тржишта и економија обима није карактеристика пословања МСП. Поред тога у неким случајевима, она послују и на истим тржиштима као и велика предузећа са задатком да надокнаде одређене недостатке великих предузећа, у смислу незадовољене тражње купаца за нестандардизованом понудом;
- **Обим пословања** - Пословање МСП се најчешће не заснива на економији обима ни на страни улаза при куповини сировина и материјала нити на страни излаза при продаји великих количина готових производа. На пример, МСП не наручују материјал у великим количинама, већ су више усмерени ка мањим количинама и учесталијим испорукама, а то може резултовати у одбијању испоруке од стране добављача или повећању трошкова поруџбине и испоруке од стране добављача или транспортних провајдера (*Gargeya & Thompson, 1994; Dowlatshahi & Taham, 2009;*). Са друге стране трошковна предност МСП су мали фиксни трошкови због малих и економичних производних постројења, мањег броја радника (Омербеговић-Бијеловић, 2000);
- **Повезаност са великим и другим малим предузећима** – Делатност великих предузећа, најчешће, у великој мери зависи од егзистенције и кооперативности (колаборације) „прстена“ малих предузећа – која су у партнерским односима (испоручилац, добављач, кооперант, дистрибутер и корисник) са великим предузећима; Такође, своју снагу МСП добијају и повезивањем у кластере, ланце и мреже (Омербеговић-Бијеловић, 2000);
- **Предузетност и иновативна снага за променама** - Иако МСП имају недостатак материјалних ресурса, оне имају посебне карактеристике које се односе на предузетност, иновативну снагу и снагу ка променама (*Ranga,*

Miedema, & Jorna, 2008): предузетнички дух, мањак бирократије, изражену флексибилност и могућност да одговоре на неочекиван развој у области, блиску сарадњу са добављачима и купцима. МСП су флексибилна и прилагодљива на промене тржишта. Она немају могућност да усмеравају тржиште али се уместо тога врло брзо прилагођавају променама (Hudson Smith & Smith, 2007). МСП су окарактерисана предузетништвом и резултат су предузетништва (Dowlatshahi & Taham, 2009), или почетне идеје и иновације о производу или услузи.

Као последица њихових карактеристика МСП имају и бројне проблеме у свом пословању. Неки од најучесталијих проблема су представљени у Табели 2.

**Табела 2:** Проблеми МСП, Србија и ЕУ-28

**Извор:** Muller et al. (2015, стр. 20); Национална агенција за регионални развој (2013)

Приказ проблема и услова пословања за МСП у Србији и ЕУ- 28	
Србија (Национална агенција за регионални развој, 2013)	ЕУ- 28 (Muller et al., 2015, стр. 20)
Приступ финансијским средствима (57%)	Проналажење купаца за производе/услуге (20%)
Наплата потраживања (53%)	Доступност квалификоване радне снаге и менаџера са искуством (17%)
Проналажење купаца за производе/услуге (42%)	Законска регулатива (16%)
Надметање са конкуренцијом (33%)	Надметање са конкуренцијом (15%)
Техничко-технолошки аспекти производње (22%)	Приступ финансијским средствима (13%)
	Трошкови производње или радне снаге (12%)

На основу података из Табеле 2 примећује се да МСП у Србији имају учесталије проблеме (распон по појединим категоријама проблема од 57% до 22%) од МСП из Европске уније (распон по појединим категоријама проблема од 20% до 12%).

Производња у малим и средњим предузећима се најчешће описује као свестрана и нестална производња коју карактерише производња високог варијетета, углавном производа по наруџбини (Persona, Regattieri, & Romano, 2004). Поред уобичајених, посебно се треба осврнути на карактеристике МСП из производне делатности. Неке од најзаступљенијих су:

- **Оскудност производних ресурса**, скроман машински парк и опрема, скромни производни капацитети машина и мали број производних радника.

Машински парк се састоји од неколико типова машина које могу да производе или обрађују разнолике производе и њихове делове у малим серијама или појединачно. Сваки производ има своју путању кроз производни погон или производну радионицу (*Slomp, Bokhorst, & Germs, 2009*). Приликом процеса планирања мора се водити рачуна о уским грлима и високом степену искоришћености капацитета (Омербеговић-Бијеловић, Лазих-Рашовић, & Ракићевић, 2010);

- **Производња према поруџбини**, енгл. *Make-to-Order (MTO)*. Велики број предузећа из категорије *MTO* јесу мала и средња предузећа (*Stevenson et al., 2005; Land & Gaalman, 2009; Muda, 2011*). *MTO* се односи на принцип производње у коме се производи не производе све док се поруџбине не потврде од стране купаца (*Stevenson et al., 2005*). Производна организација ће започети производњу производа након што купац дефинише поруџбину, на тај начин купцу је омогућена флексибилност у избору типа производа, његовог дизајна а чак и материјала од кога се састоји (*Muda, 2011*). *MTO* још карактерише мали обим производње а велику разноликост производа (*Slomp et al., 2009*). *Land* и *Gaalman* (2009) такође наводе да су МСП важан део предузећа из групе *MTO*. *MTO* је производња широког спектра производа у малим количинама (понекад и јединствених производа), са роковима испоруке које је тешко предвидети, а путање производа у радионици су веома разнолике (*Stevenson, 2009*). За производњу јединствених производа, који се раније нису производили, не може бити реално очекивати детаљне податке о временима обраде за поједине операције као и о временима припреме у циљу израчунавања рока за завршетак производње производа, тј. рока испоруке производа (*Stevenson, 2009*);
- **Велики удео занатске производње и рада** - она МСП која се налазе у овом сегменту имају веома кратке радне налоге. Радни налози често зависе од купца, тј. садрже велики део жеља и потреба купаца. Купац одређује шта жели и када то жели. Честе су промене и прекиди дефинисаних наруџбина од стране купаца (*Piller & Wölfel, 2014*);
- **Ограничен број производних радника** – производна МСП често карактерише мањи број производних радника од расположивих машина

(Slomp et al., 2009). Људски фактор утиче на велики број проблема у производном систему, укључујући капацитет производне радионице и проток радних налога (Stevenson, 2009); **Флексибилност у производњи** - организација процеса производње пружа флексибилност у реализацији производних активности на различитим производима. Флексибилност радне снаге коју чине добро обучени и веома квалификовани радници са умешностима и занатским вештинама (Muda, 2011). Подела рада није прецизно дефинисана као и средњи или нижи ниво специјализације радника за поједине послове;

- **Слаба примена метода и концепта из домена планирања производње** (Stevenson, 2009). Слично су показали и Piller и Wölfel (2014) уз напомену да МСП имају ограничена финансијске ресурсе, а такође и недовољно знања да би користили методе из планирања производње на адекватан начин. То значи да систем за планирање производње у МСП не би требао да буде скуп, а такође требао би бити разумљив. Такође МСП имају проблем са коришћењем људских и финансијских ресурса, који су потребни да би се применили комплексни модели за одлучивање (Perona, Saccani, & Zanoni, 2009). Имајући у виду скроман управљачки потенцијал МСП, решења у области оперативног планирања се генеришу спонтано, искуствено и у сарадњи са предузећем или мрежом у чијим оквирима ради МСП. Стога не чуди да наука има мало учешћа у управљању овим предузећима (Omerbegović-Bijelović, & Čangalović, 2005). У таквим околностима, проблеми оперативног планирања: асигнација, оптерећивање радника или/и машина послом, терминирање, решавају се без на савременој науци заснованих метода.

На основу детаљне анализе карактеристика производних МСП, може се потврдити хипотеза: **X(1.1):** *Могуће је дефинисати специфичности производних малих и средњих предузећа и њихове савремене карактеристике.*

### **3.2. Подршка малим и средњим предузећима**

На основу веома ограниченог ресурсног потенцијала МСП, као и њихових актуелних проблема, може се закључити да је МСП потребна помоћ и подршка. Окружење МСП може бити потенцијални извор помоћи и подршке (Rakićević et

*al.*, 2016a). Повезивање МСП са окружењем одвија се на токовима ресурса (улаза у МСП и његових излаза). Како ти ресурси могу бити материјалне и нематеријалне природе, то су и токови – везе МСП са окружењем исте, материјалне или нематеријалне (информационе) природе. Кроз формално и неформално повезивање, МСП покушавају да надокнаде недостатак пословних ресурса. Због тога се пословно окружење МСП може означити и као њихов пословни потенцијал, тј. ресурс малог и средњег предузећа (Лазих-Рашовић & Омербеговић-Бијеловић, 2006, стр. 5). Porter (1990, стр. 73) дефинише пословно окружење на следећи начин: „корен конкурентности предузећа налази се у природи пословног окружења у коме предузеће послује“. Главни учесници пословног окружења МСП су његови стејкхолдери (енгл. *Stakeholders*): купци, добављачи, конкуренти, банке и инвеститори, образовне институције и научно-истраживачке организације, владине и државне институције, креатори промена путем генерисања нових – другачијих вредности, локална заједница, организације за заштиту животне средине, медијске организације, организације и агенције које пружају подршку сектору МСП (Лазих-Рашовић & Омербеговић-Бијеловић, 2006; Омербеговић-Бијеловић, 2006, стр. 5). Сваки од наведених *stakeholder*-а има интерес да прати а понекад и подржава развој конкретног МСП, као и сектора МСП. При томе, оцењује свој интерес и потенцијале (да се придружи или да се одупре) у вези са стањем и активностима конкретног МСП. Пословно окружење је пословни потенцијал тј. ресурс малог и средњег предузећа (Лазих-Рашовић & Омербеговић-Бијеловић, 2006, стр. 5). Веза МСП са окружењем је двосмерне природе: МСП прима недостајуће ресурсе (објекте, материјале, енергију, информације) и враћа их окружењу у другој форми и садржају веће вредности кроз производе и услуге, мање вредности кроз отпад и шкарт и негативне вредности кроз загађења животне средине (Лазих-Рашовић & Омербеговић-Бијеловић, 2006). Пословно окружење је пословни потенцијал тј. ресурс малог и средњег предузећа (Лазих-Рашовић & Омербеговић-Бијеловић, 2006, стр. 5).

Под подршком се подразумева сваки облик финансијске и нефинансијске помоћи малом и средњем предузећу која му се пружа из окружења од стране осталих појединаца, компанија, институција и државе. МСП могу добити подршку од различитих формалних и неформалних провајдера или од предузећа у њиховом

ланцу вредности и шире од свих стејхолдера у њиховом окружењу. Дакле, извори различитих облика подршке МСП могу бити: учесници у ланцу вредности (купци, добављачи), банке, агенције (књиговодствене, адвокатске и консултантске), пословна удружења, образовне и научно-истраживачке организације, владине организације, медији, породица и пријатељи власника. *Bennett* и *Robson* (1999b) објашњавају како купци и добављачи могу бити добар извор информација и помоћи: а) Купци могу пружити добар сигнал о успеху тржишта производа; б) Добављачи су извор информација о новим технологијама, могућностима и шансама за иновације и смањење трошкова, такође могу бити добар извор информација и помоћи. Исти аутори (*Bennett & Robson*, 1999) наводе да је екстерна подршка јако повезана са успешним растом пословања. *Chrisman* и *McMullan* (2004) су показали да мала предузећа која користе услуге подршке од јавних (државних) агенција имају већу стопу опстанка и раста него предузећа која не користе ове врсте услуга.

*Ramsden* и *Bennett* (2005) разликују неколико различитих доприноса, од екстерне подршке за МСП и деле се у две главне групе: енгл. *Soft* или субјективни доприноси – неопипљиве користи које предузећа добијају од савета и подршке (побољшане могућности за управљање, могућности да савладају проблеме), и енгл. *Hard* или објективни исходи (повећање профитабилности пословања, повећање пословног промета, смањење пословних трошкова).

Подршка МСП може се описати преко различитих карактеристика, које могу помоћи и у њеном разврставању у различите групе и категорије. Једна од основних подела је према типу подршке тј. према припадности основним категоријама ресурса. Према овој подели два су основна типа подршке: финансијска и нефинансијска (*Rakićević, Omerbegović-Bijelović, & Lazić-Rašović*, 2013).

Финансијска подршка - подразумева новац као основни ресурс за помоћ МСП. Прецизније, у питању је финансијска подршка различитих институција и организација, са циљем да се допринесе финансирању започињања посла, односно унапређењу пословања МСП (*Start-up* кредити, кредити за финансирање текућег пословања). У великом броју случајева, новац - који се даје као подршка МСП -

није сам за себе дат као помоћ, већ је намењен постизању конкретних циљева и неопходно га је утрошити на планиране активности (нпр. институције подршке дају новчана средства МСП ради набавке опреме, за финансирање обуке запослених, за кредитирање извоза или иновирање производа, услуга и процеса). Приступ финансијском тржишту је све значајнија баријера за раст пословања (*Lee, Sameen, & Cowling, 2015*). Финансијски ресурс као форма подршке је неопходна основа за развој нових пословних подухвата. *Patzelt* и *Shepherd* (2009, стр. 322) тврде да предузетници могу достићи своје стратегијске циљеве једино када имају довољно расположивих финансијских средстава и њихових извора. Креатори подршке МСП су одавно препознали да су тешкоће у прикупљању финансијских ресурса главне препреке развоју нових пословних подухвата и, због тога, чине напоре да створе окружење са побољшаним финансијским могућностима за МСП.

Нефинансијска подршка се односи на подршку која не подразумева новчана средства као главни ресурс подршке, него, најчешће, представља неку врсту знања, преношену у различитим услужним формама. Примери су: консалтинг, обука, семинар, менторски рад, софтвер - намењеног власницима, менаџерима и запосленима МСП – кроз бројне едукативне области (маркетинг, рачуноводство, производња, менторинг, менаџмент и планирање, ИКТ, истраживање и развој, стандарди квалитета). Основни циљ нефинансијске подршке је унапређење знања и компетентности власника, менаџмента и запослених у МСП, које може допринети решавању различитих управљачких проблема у МСП. Знање – врло важан ресурс за развој сваког предузећа – који представља један од најважнијих извора конкурентске предности предузећа (*Spicer & Sadler-Smith, 2006*). По Теорији заснованој на знању (енгл. *Knowledge Based Theory*), знање представља и основну имовину/ресурс сваког предузећа – од чега зависе сви остали ресурси (*Chirico, 2008, стр. 434*), при чему су од посебне важности три врсте знања: 1) Знање о томе како управљати и развијати свој бизнис или новоосновано предузеће; 2) Знање о процесима развоја производа/услуга и њиховој производњи; 3) Знање о тржишту на коме ће нова компанија пословати. Нефинансијски облици подршке такође могу укључити: трансфер технологије, помоћ у пословном умрежавању и удруживању, помоћ и подршка репутацији МСП, развој софтверске подршке за решавања различитих управљачких проблема, подршка и помоћ за

улазак у различите пословне платформе за развој као што су пословни инкубатори и технолошки паркови.

Поред типа подршке (*Rakićević et al.*, 2016a) дефинишу и остале карактеристике подршке:

- Обим подршке - представља број различитих типова подршке обједињених у једну структуру или пакет подршке МСП. Уколико се пакет подршке који се пружа неком предузећу састоји од више типова подршке, обим подршке је већи;
- Интензитет подршке – количина одређене врсте ресурса која се користи у једном типу подршке. Интензитет подршке може бити и мерен преко следећих индикатора: време током којег се пружа подршка, број консултантских сати подршке, новчана вредност подршке, број учесника (ментора, слушалаца, консултаната) у пружању подршке неком МСП;
- Задовољство подршком – огледа се у нивоу задовољства корисника (запослених, менаџера и власника МСП) добијеном подршком; и нивоу задовољства пружаоца преко испуњености њихових намера и очекивања;
- Квалитет подршке – представља меру испуњености циља подршке тј. очекивања запослених, менаџера и власника МСП и других интересних група од подршке. То се обично исказује као ефективност и ефикасност подршке, али и као друге две карактеристике подршке: усаглашеност подршке и успешност подршке;
- Усаглашеност подршке – може се дефинисати као показатељ слагања подршке која се пружа МСП, са проблемима тог МСП, препознатим од стране компетентних појединаца и организација. *Chrisman* и *McMullan* (2004) наводе да би подршка требало да буде дефинисана и организована тако да у погледу структуре и карактеристика одговара проблемима, потребама и очекивањима МСП;
- Успешност подршке – карактеристика која подразумева ефекат подршке на решавање проблема и на показатеље успешности МСП. Може се мерити различитим показатељима. Као на пример: степен до кога је проблем у предузећу решен, односно ефекти на перформансе предузећа: укупан приход, укупан профит, тржишни удео и број запослених. Посебно је интересантна



могућност да се успешност подршке мери преко интегралне функције циља за управљање пружањем подршке МСП, која ће задовољити више стејкхолдера истовремено.

Најчешћи разлог неуспешности коришћења подршке је у чињеници да подршка које те организације креирају и пружају, није у складу са актуелним потребама МСП (*Rakićević et al.*, 2016a). *Shaw* и *Blackburn* (2000) су идентификовали овај проблем као један од пет разлога, ниског степена коришћења услуга подршке. Са друге стране, подршка сектору МСП, због неупућености институција које је креирају, организују и спроводе, у великом броју случајева је формализована и недовољно прилагођена појединачном предузећу. Циљ је, стога, да се скрене пажња на значај усаглашене подршке, оне која је прилагођена проблемима и потребама МСП.

Према (*Audet & St-Jean*, 2007), главни фактор који може утицати на коришћење услуга подршке је искуство предузетника, власника и менаџера. Поред тога *Shaw* и *Blackburn* (2000) су идентификовали следећих пет фактора који утичу на ефективност имплементације услуга подршке: мањак поверења у агенције које пружају подршку, низак квалитет подршке, мала усаглашеност између расположивих услуга подршке и потреба МСП, слаб маркетинг за услуге подршке, и високе таксе, котизације и накнаде услуга подршке за власнике, менаџере МСП. Начин да подршка буде ефективно испоручена ка предузетницима, јесте да таква подршка буде прилагођена њиховим индивидуалним потребама (*Schwartz & Bar-El*, 2004). Резултати ове студије указују да постоји скривена тражња за подршком у смислу да већини предузећа је потребна консултантска помоћ, али се предузећа не пријављују за расположиве услуге (*Schwartz & Bar-El*, 2004). *Chrisman* и *McMullan* (2004) су показали да мала предузећа која користе услуге подршке имају већу стопу опстанка и бољи раст него фирме које не користе ове врсте услуга (*Chrisman & McMullan*, 2004).

Значајан и учестали део подршке представљају и софтвери, апликације и системи за подршку одлучивању у управљачким процесима. Најчешће навођена дефиниција система за подршку одлучивању (енгл. *Decision Support System*) је према (*Keen & Morton*, 1978) систем који пружа подршку (*Eiben*, 1991, стр. 6-7):

- Помаже менаџерима у њиховом процесу доношења одлука;

- Подржава, пре него што замењује менаџерска мишљења и просуђивања;
- Подржава ефективност у процесу доношења одлука пре него њихову ефикасност.

### 3.3. Специфичности управљања малим и средњим предузећима

Управљање малим и средњим предузећима (МСП) је превођење система (МСП) из постојећег у жељено или њему блиско стање (Омербеговић-Бијеловић, 2010, стр. 243). Стање МСП се може приказати векторски – као уређени низ измерених вредности значајних карактеристика МСП, а мења се са активностима. Све те активности требало би да доприносу остваривању сврхе МСП – која се односи на мисију (бављење МСП одређеном облашћу рада), тј. делатношћу, интегришући циљеве стејхолдера МСП.

Основне фазе процеса управљања, према Омербеговић-Бијеловић (2010, стр. 141), су (Слика 3):

- **Планирање**, које подразумева дефинисање и декомпоновање циљева (динамички према временским хоризонтима, према објектима управљања и планирања) као и дефинисање начина за остваривање дефинисаних циљева преко активности за реализацију циљева и потреба за ресурсима;
- **Организовање** управљања МСП, подразумева делегирање одговорности за остваривање циљева (тј. задуживање људских ресурса за остваривање циљева) уз додељивање овлашћења за располагање и ангажовање ресурса неопходних за остваривање делегираних циљева;
- **Реализовање**, подразумева припремање ресурса (предмета рада, средстава за рад) и трансформацију ресурса као директну промену карактеристика предмета рада;
- **Контролисање**, подразумева: а) проверавање постигнутих циљева кроз мерење (поређење планираних и остварених перформанси); б) евидентирање одступања од циљева; в) евидентирање узрока одступања, као и г) *feedback* – упућивање сазнања о посматраном понашању система у следећу фазу управљања.



**Слика 3:** Шематски приказ фаза управљања

**Извор:** Омербеговић-Бијеловић (2004, стр. 9)

За разлику од великих предузећа са компликованом управљачком структуром, малим предузећем у првим фазама животног циклуса, управља најчешће предузетник (Омербеговић-Бијеловић, 2000). Касније, запошљавањем и радом (тржишним реализовањем идеје) предузетник ствара систем, па делегира обавезе и одговорности особама од поверења и стручности. Управљање предузећем се професионализује. Управљање МСП може се посматрати преко предмета управљања: а) Управљање процесима; б) Управљање ресурсима; и в) Управљање функцијама (Омербеговић-Бијеловић, 2000).

Као предмет истраживања у овој докторској дисертацији, даље ће бити разматран процес планирања. Под планирањем се подразумева фаза управљања у којој се прецизирају циљеви који се желе постићи, као и акције (активности) потребне за достизање предложених циљева уз уважавање свих ограничења (Омербеговић-Бијеловић, 2010, стр. 36). Планирање је део процеса управљања који се одвија у следећим фазама (Омербеговић-Бијеловић, 2010, стр. 141): а) Дефинисање и декомпоновање циљева: динамички по временским хоризонтима; по објектима управљања и планирања; по другим критеријумима приоритета; б) Дефинисање трајекторија тј. путева или начина преко активности и ресурса - по врсти, количини, испоручиоцима, динамици, итд, за остваривање дефинисаних циљева.

Домен планирања у производњи и пружању услуга су циљеви и акције које се дефинишу и спроводе како би омогућиле ефикасно и ефективно спровођење самог процеса производње и пружања услуга. Циљ планирања производње је и оптимизација коришћења ресурса како би се постигли циљеви производње. Шире посматрано у пословним операцијама сваког предузећа, планирање је заокупљено око усаглашавања између потреба тржишта и могућности производних и услужних ресурса (*Slack, Chambers, & Johnston, 2007, стр. 290*).

Планирање представља почетну фазу управљања у којој се дефинишу циљеви

предузећа и мере и акције за dostizaње унапред постављених циљева. Планирање је комплексан и динамичан процес који се састоји од низа подпроцеса, фаза и активности. Планирање обухвата све делове и све функције предузећа, што значи да свака организациона јединица и свака функција унутар предузећа врши израду свог плана ради достизања постављених циљева, а тиме и укупних циљева предузећа.

Сврха планирања према (Омербеговић-Бијеловић, 2006) је да покреће управљачки циклус, то се остварује тако што:

- Интегрише и обезбеђује остваривање интереса (циљева) стејхолдера;
- Декомпонује највиши циљ (сврху) предузећа на више подциљева (дефинисање стабла хијерархије циљева);
- Циљевима додели мерљиве показатеље/индикаторе (међу којима и временске одреднице);
- Дефинише активности за остваривање циљева, са међусобним односима (условљеношћу, редоследом) тих активности;
- Билансира потребе за ресурсима (по врстама и количинама ресурса и њиховим супституцијама) – којима се могу спровести планиране активности;
- Одреди динамику потреба за ресурсима и, имајући у виду управљање залихама ресурса, да планира набавку недостајућих количина;
- Одреди критеријуме за избор најповољнијих испоручилаца ресурса;
- У процес планирања укључи све релевантне пословне и управљачке информације, укључујући и „историју“ – податке о ранијим циклусима управљања (ради унапређења планирања и комплетног управљања);

Процес планирања се може категорисати према (Омербеговић-Бијеловић, 2010, стр. 144): (1) сопственој природи и (2) временском хоризонту.

По природи објекта планирања (Слика 4) категорише се на: а) стања елемената система (вредности у конкретном тренутку): обим производа из асортимана, укупан приход, трошкови; и б) промене стања елемената система: набавка, производња, продаја.

		Временски хоризонти		
		Дугорочно	Средњорочно	Краткорочно
Природа објекта планирања	Продаја	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Дугорочно предвиђање тражње</li> <li>- Дугорочно планирање продајног асортимана</li> <li>- Планирање продајне мреже</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Годишње предвиђање тражње</li> <li>- Планирање продајног асортимана на средњи рок</li> <li>- Агрегатни план</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Краткорочно планирање продаје</li> </ul>
	Производња	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Програм производње и услуживања</li> <li>- Планирање организације и локације производног система</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Годишњи план производње</li> <li>- Агрегатни план</li> <li>- Грубо планирање производних капацитета</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Распоређивање и терминирање производних активности</li> <li>- Планирање оптималне величине производних серија</li> <li>- План лансирања ресурса</li> </ul>
	Набавка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Дугорочно планирање пословних веза са добављачима</li> <li>- Планирање избора добављача</li> <li>- Дугорочно планирање набавке ресурса (<i>HR</i>, капацитети, локација, инфраструктура)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Годишњи план набавке ресурса</li> <li>- Обезбеђивање потребних врста, количина и динамике ресурса (снабдевање ресурсима и управљање залихама)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Оперативне потребе за ресурсима</li> <li>- Оперативно планирање набавке, оптималне количине поручивања</li> </ul>

**Слика 4:** Матрица планирања – основни објекти планирања и временски хоризонти

Процес планирања (производње и услуга) се најчешће посматра према временским хоризонтима (Омербеговић-Бијеловић, 2010, стр. 144–146):

1. **Дугорочно планирање** – обухвата период од 3-5 година и карактеристично је за следеће објекте планирања: мисију предузећа, његов раст и развој, избор програма производње или услуживања, избор тржишта и дуготрајних пословних веза, дугорочно планирање структуре ресурса - кадрове, технологије и опреме, капацитете, сертификате квалитета, локације, инфраструктура; Дугорочно планирање обухвата планирање развоја, избора програма производње, избор тржишта, дугорочно планирање ресурса;
2. **Средњорочно планирање** – обухвата период од неколико месеци до 3 године (најчешће је на годину дана) и карактеристично је за следеће објекте планирања: одређивање нивоа производње и пружања услуга (преко асортимана и обима) за средњорочни период, дефинисање биланса ресурса и планова снабдевања њима, одређивање расположивих капацитета. Агрегатно

планирање спада у домен средњорочног планирања; агрегатним планирањем се одређује стратегија за усаглашавања нивоа производње и ангажовања производних ресурса са предвиђеном продајом у средњорочном периоду;

3. **Краткорочно планирање** – обухвата временски период од неколико часова или дана па до годину дана, а често се назива и оперативно планирање. Објекти планирања су: краткорочне потребе за ресурсима и капацитетима (материјал, алат, машине, HR), редослед и распоред производње производа на машинама, распоред извршилаца на активности у пружању услуга.

На основу поделе према временским хоризонтима и природи објекта планирања, може се формирати матрица планирања (Слика 4).

Такође, планове и процес планирања је могуће посматрати и према величини иновације у управљању и величини промене у пословном понашању. Тако планирање се дели на:

- **Стратешко** – подразумева неку радикалну промену (локација, тржиште, производни програм и програм услуживања, пословне везе и ланци вредности);
- **Тактичко** – планови стратешких промена и њиховог укључивања у редовне планове (дугорочне и годишње планове) пословања и производње и пружања услуга;
- **Оперативно** (тј. краткорочно) планирање подразумева планове тренутно актуелних активности на реализацији тактичких промена и оперативне, краткорочне промене у ангажовању ресурса и остваривању циљева промена, као и промене инкорпориране у „редовно“ краткорочно пословање.

Великика предузећа карактерише организациона структура са више нивоа и такође већи ниво делегирања у процесу доношења одлука као и планирање које је успостављено на корпоративном нивоу а онда и децентрализовано по појединим организационим функцијама (*Augustine et al.*, 2013). Код МСП је ситуација доста другачија, велики део процеса планирања реализује сам предузетник, тек понешто од активности планирања реализују остали запослени у оквиру процеса производње и набавке. Систем планирања у МСП обично не истиче потребу за писаном документацијом и формалном процедуром. Непредвидиво време

реализације и рокови испоруке као и веома променљиве производне путање на нивоу радионице ограничавају употребу активности планирања у МСП које производе према поруцбини и мерама купаца (*Augustine et al.*, 2013, стр. 4).

Бројни аутори су истраживали карактеристике и праксу планирања у МСП. Према аутору *Hudson Smith* и *Smith* (2007), планирање у МСП је мање контролисано, мање у вези са политикама предузећа, мање рационално а више интуитивно, за разлику од великих компанија. Према *Jones* (1982) планирање у малим предузећима је најчешће флексибилно, неформално и краткорочно оријентисано. *Rue* и *Ibrahim* (1996) су истраживали праксу планирања у малим породичним предузећима преко следећих детерминанти: 1) Тип циљева у планирању које користе МСП; 2) Екстерни фактори који служе као инпути информација за прављење дугорочних планова; 3) Намера за остварење циљева који се односе на планирање раста и ширења пословања; 4) Тип финансијског планирања који се предузима од стране компаније; 5) Обим у коме се периодично разматрају перформансе; 6) Коришћење спољних консултаната за помоћ у процесу дугорочног планирања; 7) Мера или обим у којој се користе математичке и рачунарске методе и модели.

Према *Yusuf* и *Saffu* (2005), планирање је важан управљачки процес који може водити до достизања економских циљева уколико се употребљава делотворно и ефективно. Исти аутори наводе да планирање само по себи није кључно за веће перформансе. Његова адекватна примена и коришћење је важна компонента (*Yusuf & Saffu*, 2005). Због тога је неопходно у процес планирања укључити показатељ којим се мери његова адекватност или ефективност. Омербеговић-Бијеловић (1998) у монографији „*Метауправљање и квалитет управљања*“ предлаже концепт квалитет планирања. „*Квалитет неког пословног феномена (на и процеса планирања) је ниво, мера, показатељ његове усклађености са циљевима посматраног пословног система*“ (Омербеговић-Бијеловић, 2010, стр. 149). Дакле, мера или степен испуњености циљева планирања је квалитет планирања. Квалитет планирања се може дефинисати као (Омербеговић-Бијеловић, 2010, стр. 151): 1) Ефективност - показатељ остварености сврхе планирања и визије плана; и 2) Ефикасност - показатељ оправданости и смисла плана и планирања, као однос између користи која се генерише и трошкова

процеса планирања и стварања плана. Инвестирањем у развој метауправљачких алата: а) модела; б) метода и техника; в) техничких средстава; и г) организационих помагала; и њиховом применом се директно доприноси развоју планирања (и управљања), а тиме и пословној и друштвеној успешности (Омербеговић-Бијеловић, 1998).

Без плана, менаџери и њихови сарадници имају мале шансе да остваре циљеве. Ако су планови недоречени и нејасни, запослени неће знати шта се од њих очекује. Недостатак планова значи да ће људи морати да доносе одлуке којим активностима ће се у датом времену бавити на основу притиска који се у то време врши. У оваквим околностима ни контрола не може да буде од користи. Нажалост, чињеница је да МСП посвећују мање пажње методама планирања него велика предузећа (*Vaaland & Heide, 2007*).



## **4. ОПЕРАТИВНО ПЛАНИРАЊЕ ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊЕ РЕСУРСИМА У МАЛИМ И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА**

У овом делу докторске дисертације, представљен је процес оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП. Најпре је представљен и дефинисан процес планирања производње и пружања услуга. Затим је дефинисан појам управљања ресурсима, са посебним освртом на одређивање ресурса у малим и средњим предузећима и описом домена управљања ресурсима. Након тога дефинисане су карактеристике и типови производних операција које су важне за представљање различитих модела оперативног планирања производње. У наставку, је представљен и теоријски преглед концепта оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП. Најпре преко описа домена система оперативног планирања који се састоји од различитих активности, а затим и преко најчешћих проблема који се јављају у реализацији наведених активности. Посебна пажња се посвећује активностима распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње и управљању производним ресурсима. Након упознавања са различитим проблемима из домена оперативног планирања производње, представљају се методе за њихово решавање. На основу кључних појмова представљених у овом делу, утврђене су специфичности оперативног планирања производње и управљања ресурсима у малим и средњим предузећима и ниво развијености оперативног планирања производње.

### **4.1. Планирање производње и пружања услуга**

Након објашњења појма планирање, у овом делу докторске дисертације, потребно је дефинисати појам и процес планирања производње и пружања услуга, као и његове активности које се у оквиру овог процеса реализују. Домен планирања у производњи и пружању услуга су циљеви и акције које се дефинишу и спроводе, како би омогућиле ефикасно и ефективно спровођење самог процеса производње и пружања услуга. Циљ планирања производње (и пружања услуга) је и оптимизација коришћења ресурса како би се постигли циљеви производње, тј. пружања услуга (Омербеговић-Бијеловић, 2010).

Производња се дефинише као сврсисходна друштвена делатност у којој се одређени скуп материјалних елемената и разних видова енергије, трансформише у одређена материјална добра (производе), која задовољавају одређене друштвене потребе (Лечић-Цветковић & Атанасов, 2015, стр. 3). Услуге се, према Котлеру, дефинишу као свака активност или корист коју једна страна нуди другој, њена производња може, али и не мора бити повезана са физичким опипљивим добром (Лечић-Цветковић & Атанасов, 2015, стр. 237). Ако се производња посматра као процес, којим се задовољавају жеље корисника резултата производње, тада производња не обухвата само материјална добра, него и широк распон услуга. На тај начин у даљем тексту докторске дисертације, под производњом ће се подразумевати и материјални и нематеријални објекти, њихова обрада у стварању, преношењу и додавању вредности, дакле и процес производње услуга.

Постоји више дефиниција процеса планирања производње, а неке од њих су:

*„Планирање производње у предузећу бави се одлукама као што су: које количине одређених производа произвести у извесном времену и који ће капацитети бити потребни у различитим временским тренутцима“* (Управљање производњом уз примену компјутера, *ORG Manual*: интегрално управљање производњом, 1982).

Према *Augustine et al.* (2013, стр. 2), *„Планирање и регулисање производње (енгл. Production planning and control) је систем који се састоји од активности планирања, усмеравања, распоређивања, диспечирања (отпремања) и пратећих функција у производном процесу, на такав начин да се кретање материјала, перформансе машина и операције рада управљају и усмеравају да обезбеде квалитет и квантитет, поштујући време (рокове) и место“*.

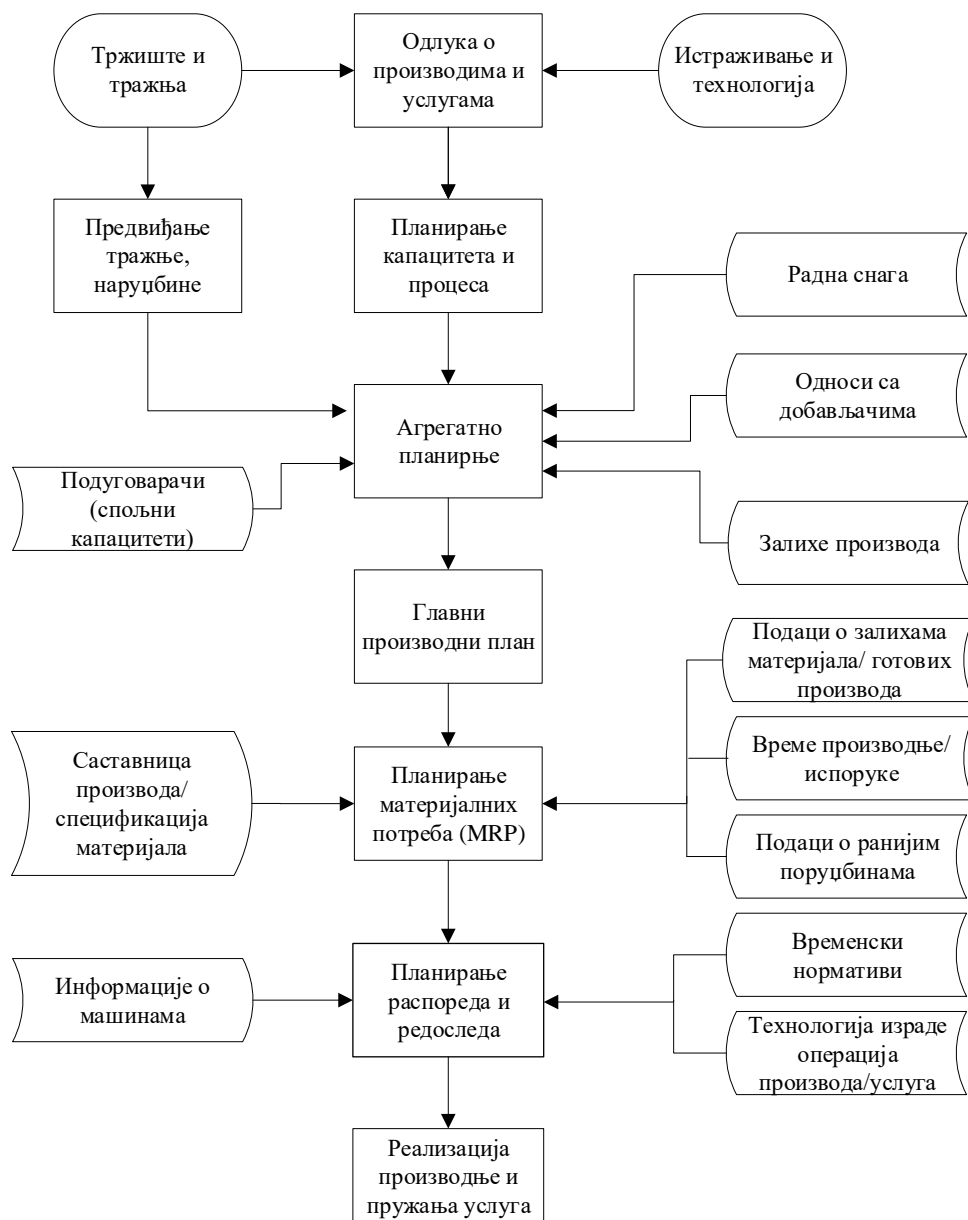
*„Планирање производње је настало као инструмент за остваривање циљева производног процеса као што су испоручивање неопходне количине финалних производа адекватног квалитета на правом месту у право време“* (*Augustine et al.* 2013, стр. 1).

*„Под планирањем производње се подразумева планирање динамике интеракција између следећих ентитета: купца као појединаца и организација које добијају производе; производа као све што се нуди како би се задовољиле потребе и жеље купаца; и процеса као производног ланца вредности који је укључен у*

испоручивање производа купцима, тј. процес трансформације (уз уважавање физичких својстава, времена и локације)“ (Olhager & Wikner, 2000).

„Планирање производног процеса и није ништа друго него предвиђање асортимана и обима производње, као планских задатака и предвиђање свих потребних услова да би се ти плански задаци извршили“ (Рађеновић, 1978, стр. 2).

У претходним дефиницијама, наведено је мноштво активности или потпроцеса у оквиру процеса планирања производње, али те активности нису на адекватан начин сегментирани и стављени у одређен поредак или хијерархију. Својствене функције система планирања производње обухватају планирање материјалних потреба, планирање (тј. предвиђање) тражње, планирање капацитета и распоређивање и одређивање редоследа производних активности (Stevenson et al., 2005). Нешто прецизнију поделу и сегментацију активности у оквиру процеса планирања производње дали су Heizer и Render (2011, стр. 54). У оквиру процеса планирања операција (производње и пружања услуга) прво се полази од тржишта и предвиђања тражње за производима и услугама предузећа (Слика 5). На основу предвиђене тражње, и одлуке о избору асортимана производа и услуга, планира се и дугорочни производно-услужни капацитет предузећа. Дугорочне одлуке о капацитетима дефинишу расположиви капацитет на средњи рок, што заједно са средњорочним предвиђањем тражње представља основне информације за састављање агрегатног плана. Агрегатно планирање (APP - енгл. *Aggregate Production Planning*) обухвата средњорочни период (од 3 до 18 месеци) и одређује стратегије за усклађивање ангажовања посматраних ресурса (људских ресурса, производних и услужних капацитета, производње у току, залиха) и количине различитих врста производа и услуга у временском периоду у коме ће се производити (Gansterer, 2015). Поред претходно наведене средњорочне тражње и расположивих капацитета, агрегатни план доводи у везу и број запослених радника, њихов прековремени или смањени рад, ниво залиха и могућност ангажовања подуговарача, а све са циљем минимизације будућих трошкова у том планском периоду.



**Слика 5:** Процес планирања производње и пружања услуга

**Извор:** Модификован и допуњен (Heizer & Render, 2011, стр. 54)

Након дефинисаног агрегатног плана прелази се на фазу у којој се врши састављање главног производног плана (*MPS* - енгл. *Master Production Schedule*) (Vogel, Almada-Lobo, & Almeder, 2017). У *MPS* су планиране количине производа и услуга приказане према разним појединачним варијететима истог типа производа/услуге (што није случај Агрегатног плана) и дефинисане према временским периодима у којима се намерава њихова производња. Главни производни план представља основ за наредне фазе процеса планирања: планирање материјалних потреба методом (*MRP* - енгл. *Material Requirements*

*Planning*), распоређивање послова у будућем процесу производње и пружања услуга, наручивање сировина и материјала, лансирање производње и отпремање материјала у производњу (*Ivanov, Tsipoulanidis, & Schönberger, 2017b*). *MRP* метода служи за одређивање материјалних потреба будућих производа или услуга које је потребно произвести. Она користи следеће податке и информације: саставницу производа (*BOM* – енгл. *Bill of Material*)<sup>1</sup>, податке из главног производног плана, податке о залихама готових производа и материјала, податке о актуелним пријемима материјала и информације о временима испоруке<sup>2</sup>. *MRP* метода показује да одређени производ мора бити завршен одређеног дана или недеље, али не одређује прецизан распоред у смислу да ли производња производа треба да почне у одређеном временском часу и на којим радним местима ће се реализовати производне активности (машине, радници, опрема). Последња активност у процесу планирања операција нам ту информацију пружа као резултат. То је планирање распоређивања послова на машине у производном систему односно планирање распоређивања активности на извршиоце у услужном систему (*Herrmann, 2006*). Суштина проблема распоређивања представља: а) просторни распоред активности на радне центре, тј. додељивање одређених послова и радних задатака машинама или извршиоцима које је потребно обавити у сврху производње и пружања услуга; и б) временски распоред активности или операција неког посла, тј. дефинисање редоследа одвијања активности у времену, дат кроз термин-план<sup>3</sup> или гантограм.

Представљен концепт планирања производње не мора се само односити на једно предузеће. Модерни трендови у менаџменту укључују и оријентацију на мреже производних и услужних предузећа која су у односу купац-испоручилац, познате под називом ланци снабдевања и ланци вредности (*Lečić-Cvetković, Atanasov, & Omerbegović-Bijelović, 2014; Omerbegović-Bijelović, Atanasov, & Rakićević, 2014*).

---

<sup>1</sup> Саставница материјала је количинска листа компоненти, састојака и материјала потребних да се направи један производ. Други назив је и спецификација материјала.

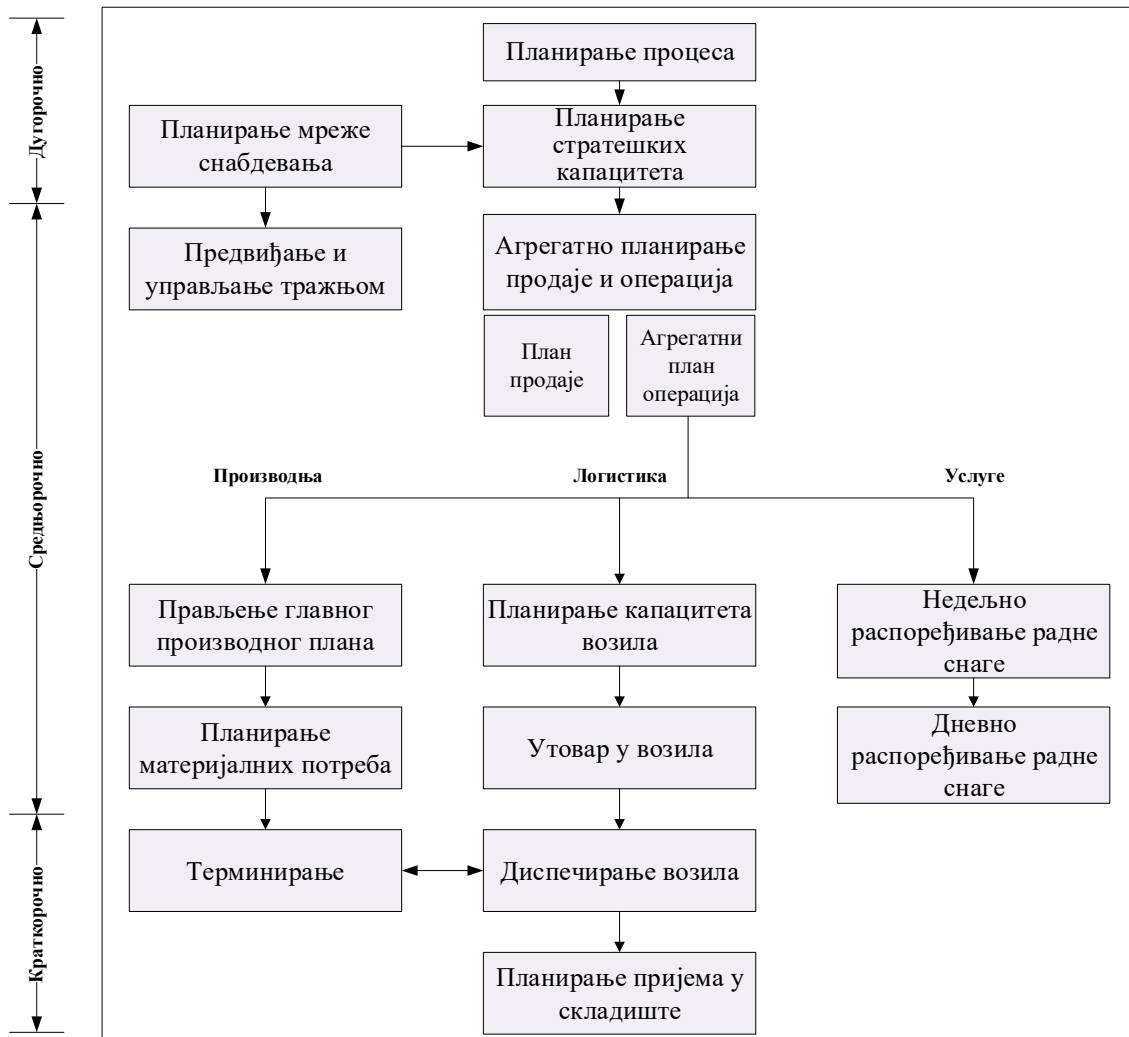
<sup>2</sup> Време реализације/испоруке, или потребно време за производњу (енгл. *Lead time*), има следеће значење: у процесу набавке представља време од момента препознавања потреба за поруџбином производа до пријема исте поруџбине. У процесу производње, време које протекне од лансирања налога за производњу до завршетка израде самог производа.

<sup>3</sup> У термин-плану се најчешће прецизно дефинише када нека активност почиње, када се завршава, колико је њихово трајање и у ком временском периоду су ангажоване машине.

Планирање производње је једна од кључних активности привредних предузећа. Према ауторима (*Vogel et al.*, 2017) то није појединачан процес, већ процес који је вертикално подељен у више различитих нивоа. Сваки од нивоа је фокусиран на различите временске хоризонте (дугорочно, краткорочно, средњорочно). Исти аутори наводе да су у истраживачкој заједници, претходно споменути нивои обично одређени кроз потпроцесе: агрегатно планирање производње (*APP*), дефинисање главног производног план (*MPS*), планирање материјалних потреба (*MRP*) и распоређивање и сви су део система за планирање ресурса у производњи – (*MRP II* – енгл. *Manufacturing Resource Planning*). Ипак не постоји јединствена дефиниција претходно наведених нивоа (дугорочни, средњорочни и краткорочни) јер се проблеми планирања делимично разликују између предузећа из различитих делатности. Подела процеса планирања производње у потпроцесе који се одвијају узастопно назива се хијерархијско планирање производње (*HPP* – енгл. *Hierarchical Production Planning*) (*Vogel et al.*, 2017).

Још неки од аутора дефинисали су активности процеса планирања производње. *Junior* и *Filho*, (2012) у њиховом раду наводе следеће активности планирања производње: предвиђање тражње за производима, агрегатно планирање, одређивање главног производног плана, планирање залиха у производњи, планирање капацитета, одређивање количине производних серије, распоређивање и терминирање производних активности. *Jacobs* и *Chase* (2008, стр. 286) структуру процеса планирања у производном предузећу представљају на следећи начин Сликаом 6, на којој процес планирања деле по временским хоризонтима (дугорочно, средњорочно и краткорочно) као и објектима планирања: планирање производње, планирање логистичких активности, планирање у услужним активностима.

Такође, према ауторима (*Persona et al.*, 2004) планирање производње обухвата дефинисање спецификације материјала, као и производних рута, дефинисање главног производног плана, проблеме одређивања количине посла (производних активности) и величине производне серије, распоређивање производних активности на производне ресурсе, одређивање редоследа извршавања производних активности (*Persona et al.*, 2004).

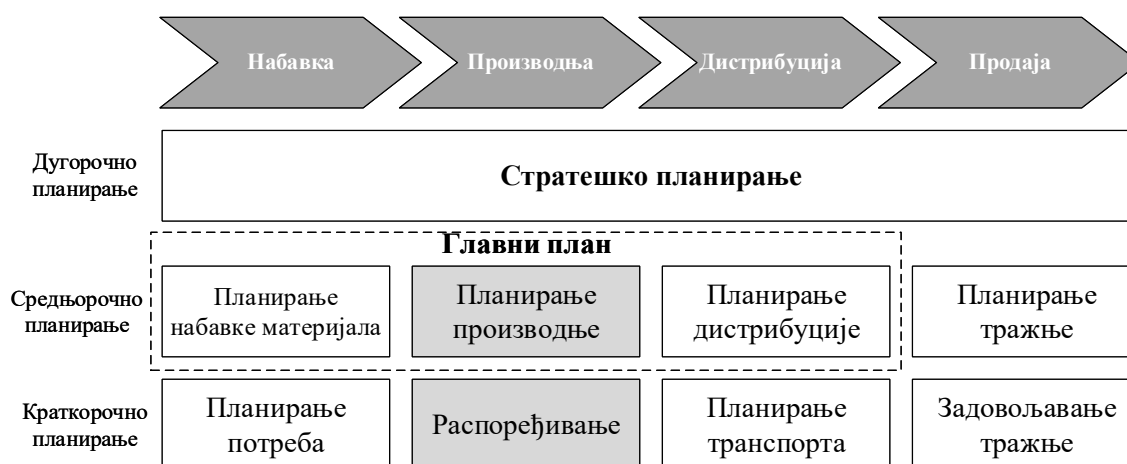


Слика 6: Основне активности планирања производних и услужних операција

Извор: (Jacobs & Chase, 2008, стр. 286)

Piller и Wölfel (2014) представљају домен планирања производње преко ланца процеса вођен догађајима (енгл. *Event-Driven Process Chain*). Према овим ауторима (Piller & Wölfel, 2014), процес производње се састоји од: планирања примарних тј. основних потреба, планирања секундарних потреба и планирања капацитета и временских термина. Планирање основних потреба односи се на планирање врста и типова производа које предузеће жели да производи. У планирању основних потреба, предузећа желе да сазнају које типове производа желе да производе, у ком временском периоду ће бити произведене и у којој количини. Резултат ових калкулација је производни план. Након завршеног планирања основних потреба, прелази се на планирање секундарних потреба, где се дефинишу укупне потребе у процесу за све производе у планирању

производње. Након тога, дефинишу се нето производне потребе за све производе које је потребно произвести. После ових калкулација, политика залиха се може ревидирати. Када се планирање примарних и секундарних потреба изврши, у следећем кораку планирања производње, планирају се капацитети и временски термини. У овом кораку се за претходно дефинисано време производње, прецизно дефинишу временски термини почетка и завршетка сваког налога за производњу (Piller & Wölfel, 2014) .



**Слика 7:** Место планирања производње у процесу планирања у ланцу снабдевања

**Извор:** (Maravelias & Sung, 2009; Ivanov, Tsipoulanidis, & Schönberger, 2017a, стр. 49)

Процес планирања производње може се дизајнирати у различитим правцима (Olhager & Wikner, 2000). Приступ „одозго на доле“ (енгл. *Top-down*) полази од производне стратегије као референтне тачке, док приступ „одоздо на горе“ (енгл. *Bottom-up*) би кренуо од подршке одлучивању о детаљним производним активностима и градио остале активности на горе. Ако би се адекватно применили, оба приступа би додала само оне активности планирања које подржавају операције које додају вредност (Olhager & Wikner, 2000).

Као део глобалног процеса планирања у ланцу снабдевања. Maravelias и Sung, (2009) наводе место планирања производње у планирању у ланцима снабдевања. На Слици 7 се види да је једна од значајнијих краткорочних активности у оквиру планирања производње, активност или потпроцес распоређивања.

Olhager и Rapp (1995) наводе неке од активности у процесу планирања производње: предвиђање тражње, планирање залиха, агрегатно планирање,



планирање обима производње, дефинисање главног производног плана, грубо планирање капацитета, распоред производних активности, планирање материјалних потреба, планирање потреба за капацитетима, лансирање и распоређивање, диспечирање и пуштање радних налога у производњи, дефинисање редоследа у производњи, пуштање наруџбеница за набавку, контрола улазних материјала, односи са добављачима, мерење перформанси у производњи (варијабилност у року испоруке, ниво услуга купцу, искоришћеност капацитета, искоришћеност уских грла, адекватан ниво сигурносних залиха, обрт залиха и обим производње у току).

Приликом планирања процеса производње велики део активности планирања за предмет има производне ресурсе предузећа. Наредно поглавље је резервисано за ресурсе у МСП и управљање тим ресурсима.

## **4.2. Управљање ресурсима**

Под ресурсима се могу подразумевати *„преносиоци вредности у области материјалне производње: предмети рада – сировине, материјали, компоненте производа и сам производ, средства за рад – машине, алати и друга опрема..., извршиоци као људски ресурси, простор за рад...“* (Лазих-Рашовић & Омербеговић-Бијеловић, 2006, стр. 5). Питер Дракер је читаву област управљања дефинисао преко ресурса: *„Менаџмент се бави систематском организацијом економских ресурса са задатком да постојеће ресурсе учини продуктивнијим“* (Drucker, 2012). Према Slack, Brandon-Jones, Johnston, и Betts (2015, стр. 327) управљање ресурсима је процес алокације ресурса и активности да би се обезбедиле да процеси (операције стварања вредности) буду ефикасни и да одражавају или рефлектују потребе корисника за производима или услугама. Према истом аутору, кључни елементи у планирању ресурса су: распоређивање, терминирање (одређивање временског распореда), одређивање потребне количине тј. обима посла који је алоциран на неки процес или фазу процеса, приоритизација тј. одређивање редоследа извршавања послова (Slack et al., 2015, стр. 330). Приликом одређивања редоследа, приоритет се може дати према извесним правилима.

#### 4.2.1. Дефиниција ресурса у предузећу

Ресурси се могу дефинисати као сва могућа материјална и нематеријална добра која чине организациони систем “живим” (Омербеговић-Бијеловић, 2006, стр. 98). Једну од првих класификација ресурса је дао *Ansoff* (1965), који класификује ресурсе у три једноставне категорије: физички (објекат, опрема), финансијски (готовина, кредити) и људски (радна снага, управљање). Ова подела је брзо укључила и детаљне описе организационих ресурса (интеграција вештина и знања), технологију (*know-how*) и ресурсе репутације. Иако и дан-данас не постоји консензус о начину класификације ресурса, чини се да постоји висок степен сагласности око важности присуства физичких, финансијских и људских ресурса.

Након класификације *Ansoff* (1965), појављују се прва разматрања о ресурсима предузећа тзв. „На ресурсима-засновано гледиште“ (енгл. *RBV – Resource Based View*) (*Wernerfelt*, 1984). Према овом гледишту, стратегија раста укључује постизање равнотеже између експлоатације постојећих ресурса и развоја нових. *RBV* које је у међувремену, од 1984. прерасло у теорију засновану на ресурсима (енгл. *RBT - Resource-Based-Theory*) (*Barney*, 1991, стр. 101; *Grant*, 1991). Основни принцип *RBT*-а лежи у ставу да основа конкурентности предузећа лежи у скупу њених вредних ресурса. Ресурси су снага која омогућава да предузеће имплементира пословне стратегије. *Barney* (1991) дефинише ресурсе на следећи начин: „*Ресурси предузећа обухватају сву имовину, способности, организационе процесе, особине предузећа, информације, знање, које предузеће контролише, а који му омогућавају да створи и примени стратегије које побољшавају ефикасност и ефективност*“. Теорија заснована на ресурсима идентификује све ресурсе који предузећу стоје на располагању, а затим дефинише оне кључне, који поседују вредност, ретки су, није их могуће савршено имитирати, ресурс није могуће савршено заменити. Такви кључни ресурси у организацији омогућавају да предузеће постигне одрживу конкурентност (*Barney*, 1991).

Према *RBT* (*Grant*, 1991) пословна стратегија предузећа се формира на основу конкурентских предности предузећа које су засноване могућностима предузећа да искористе ретке и важне ресурсе у предузећу. У овој теорији се такође полази од кључних разлика између ресурса и њихових способности. Ресурси су инпути у

производном процесу, они укључују финансијске, физичке, људске, технолошке, организационе ресурсе и репутације. Способност је капацитет групе ресурса да извршавају одређени задатак или активност. Док су ресурси извор способности предузећа, способности су главни извор конкурентске предности предузећа. Након теорије *RBT* јавила се теорија заснована на знању (енгл. *KBT - Knowledge-Based Theory*) аутора (*Grant, 1996*), идентификује знање као најосновније средство предузећа од кога остали ресурси зависе.

Ресурси неког предузећа могу се разврстати у неколико категорија (*Brush, Greene, Hart, & Edelman, 1997*) и допуњено од (Омербеговић-Бијеловић, 2006, стр. 101; Љамић-Ивановић & Омербеговић-Бијеловић, 2008, стр. 24):

- Физички ресурси (објекти, машине, опрема, технологија, материјал);
- Финансијски ресурси (новац и капитал);
- Људски ресурси (образовање, искуство, репутација);
- Социјални или друштвени ресурси (односи са људима, контакти, породица, политичке везе);
- Организациони ресурси (структура процеси, знања, рутина, култура);
- Технологија (*know-how*);
- Информације;
- Идеје;
- Принципи организовања;
- Тржиште.

*Osterwalder* и *Pigneur* (2010, стр. 35) наводе неке предузетничке ресурсе:

- Физичка имовина: постројења, зграде, возила, машине, опрема, дистрибутивна мрежа, карактеристичне за капитално интензивне делатности (енгл. *Capital Intensive Industries*);
- Интелектуални ресурси: бренд, робна марка, интелектуална својина (зигови, патенти, дизајн, ознаке географског порекла, ауторска права), знање, карактеристично за делатности које захтевају висок ниво знања и креативности (енгл. *Knowledge Intensive and Creative Industries*);
- Људски ресурси – знање и искуство предузетника и запослених;
- Финансијски ресурси – новац, и остали финансијски инструменти.

Једна од важних подела ресурса је на обновљиве (енгл. *Renewable Resources*) и необновљиве ресурсе (енгл. *Non-Renewable Resources*). Обновљиве ресурсе у производњи чине радници и машине и опрема која се користи у процесу производње. Необновљиви ресурси у процесу производње чине новчани капитал сировине и материјали. Ова подела не мора бити тако стриктна, јер поједини ресурси временом могу постати необновљиви или обновљиви.

Мисија ресурса у предузећу (па и у МСП) је да пренесе вредност („урођену“ – природом ресурса и створену од стране човека и уграђену) купцу или кориснику. Како се под производњом могу посматрати и услуге („производња и стварања услуга“), то се сви ресурси једног предузећа могу сматрати производнима (са својом улогом да производе или/и пренесе вредност). Ресурси у времену доживљавају промене значаја и начина ангажовања: машине су постале ефикасније, брже и са мањим учешћем људског рада (аутоматизоване). Промене у области технологије и друштвене промене, овде су довеле до значајних иновација, уштеда. Мења се и начин ангажовања, јер се према Омербеговић-Бијеловић (2004, стр. 302) једни ресурси замењују другима (људски рад са радом машина, недостатак тржишта са маркетиншким активностима, недостатак атрактивне и нове вредности са нижом ценом).

Ресурси су веома битни за стварање нових пословних подухвата и раст малих предузећа (*Greene, Brush, & Brown, 1997*), као што је већ наведено јер су углавном оскудни. Највећи број истраживања је фокусиран на стицање финансијских ресурса, а мање пажње се придаје осталим ресурсима (људским, друштвеним, организационим, физичким) (*Greene et al., 1997*). Поред проблема оскудности ресурса МСП, јавља се проблем њихове неадекватне развијености. У докторској дисертацији (Љамић-Ивановић, 2008), описује се значај равномерне развијености ресурса МСП. Резултати истраживања у тој дисертацији су указали на постојање снажне везе између усклађености пословних ресурса и способности МСП за раст и развој.

#### **4.2.2. Управљање производним ресурсима**

Генерално, у производним моделима се под ресурсом који треба доделити најчешће подразумева капацитет или рад машина, док се под активношћу којој се

тај ресурс додељује најчешће подразумева посао као једна или низ операција обраде неког производа на једној или више машина. Проблем оперативног планирања, као и распоред производа (послова) на машине (извршиоце) ради обраде, не би био комплексан проблем да не постоји ограниченост у погледу ресурса (капацитета машина, алата, техничких средстава и људи).

„Управљање ресурсима је процес управљања алокацијом ресурса и активностима које обезбеђују да процеси (операције стварања вредности) буду ефикасни и да одражавају или рефлектују потребе корисника за производима или услугама“ (Slack et al., 2015, стр. 327).

Кључне активности у планирању ресурса су (Slack et al., 2015, стр. 330): Распоређивање (додељивање ресурса на активности и извршиоце); терминирање (утврђивање термина потребе за ресурсима); утврђивање потребних количина; одређивање редоследа и приоритизација (којим редоследом да се послови извршавају, да ли неки посао има приоритет у додели и коришћењу ресурса).

Проблем управљања ресурсима се може представити и у контексту оперативног планирања. Многи радови који се баве распоређивањем суочавају се са проблемом како управљати извршавањем скупа послова или задатака, који се морају реализовати према унапред дефинисаним захтевима за ресурсима и максималној расположивости ресурса у систему. Најбољи пример је распоређивање у пројектима. Скоро сва истраживања која се реализују у овој области су фокусирана на минимизацију времена завршетка свих активности, уважавајући горе поменута ограничења. То значи да, уопштено посматрано, ови модели не разматрају каква је алокација ресурса у распореду током времена, и на тај начин откривају неадекватности у многим примерима из праксе где је уравнотежење распореда ресурса неопходно да би се избегле нежељена појаве прекомерне употребе ресурса, што може бити штетно у погледу трошкова. Група проблема која разматра распоређивање задатака и активности, чији је циљ да минимизује меру одступања у коришћењу ресурса позната је под називом нивелисање ресурса (енгл. *Resource Levelling* или *Resource Smoothing Scheduling*) (Caramia & Dell’Olmo, 2006, стр. 66).

### 4.2.3. Планирање производних ресурса

Планирање ресурса обухвата утврђивање потребних количина, затим утврђивање термина у којима су поједини ресурсу потребни и обезбеђење потребних ресурса у потребним количинама и квалитету и у потребним терминима преко процеса набавке. Класични ресурси производње и пружања услуга су, у основи, исти: сировине и материјал, машине и опрема, енергија, вода и флуиди, простор, радна снага (људски ресурси), подаци и информације, време.

Услед великог броја ресурса у предузећу, настали су бројни системи који омогућавају њихово лакше планирање и управљање. *ERP* систем представља пословно решење које омогућава компанијама лакше управљање ресурсима у предузећу преко аутоматизације и интеграције свих информација и пословних процеса у један јединствен систем. Тачније, реч је о врсти информационог система предузећа која интегрише све пословне процесе у којима се врши употреба, трансформација и продукција одређене врсте ресурса (сиrovине и материјали, машине, радна снага, производи). Историјски гледано *ERP* системи су настали од *MRP* методе која је откривена шездесетих година прошлог века. Та метода се употребљавала за лакши прорачун потребног материјала и осталих компоненти неопходних за производњу одређене количине производа. *MRP* метода је користила информације из главног производног плана и информације о стању залиха готових производа и компоненти а затим на основу саставнице производа генерисала (прерачунавала) неопходне материјале које је потребно набавити да би се одређена количина произвела (*Koh & Simpson, 2005*). У почетку је ова метода примењивана ручно, а касније, са развојем рачунара, почињу да настају прве мале рачунарске апликације за овакве прорачуне. Дакле, *MRP* метода се користила за прорачун једне врсте ресурса у предузећу. Њеним даљим развојем покушавају се интегрисати још неки процеси у којима се врши прорачун одређених ресурса. Тако настају методе:

- *CRP* (енгл. *Capacity Requirements Planning*) – метода за планирање капацитета машина које се користе у производњи;
- *DRP* (енгл. *Distribution Requirements Planning*) – метода за планирање дистрибуције и потреба у дистрибуционој мрежи, као и бројне друге методе.

Интеграцијом тих метода првенствено у сектору производње у предузећима се јавља нови концепт *MRP II* чији је задатак да интегрише све методе ка бољем и крајњем оптималном планирању и коришћењу свих ресурса производног предузећа (производња, маркетинг, финансије, инжењерство). *MRP II* систем се састоји од следећих функција: пословно планирање, планирање операција и продаје, планирање производње, дефинисање главног производног плана, планирање материјалних потреба, планирање капацитета (*Wight, 1981; Koh & Simpson, 2005*). Поучени добром планерском праксом у производном сегменту, концепт *MRP* покушава се пренети и на остале сегменте пословања као што су процес пружања услуга, набавка, продаја, финансије и књиговодство, људски ресурси, итд. Тако настаје концепт *ERP* систем (енгл. *Enterprise Resource Planning*) чије циљ интегрисање свих пословних процеса у предузећу кроз један информациони систем у сврху лакшег планирања и управљања свим пословним ресурсима (*Olhager & Wikner, 2000*). Тежња ка усавршавању система за управљање пословним ресурсима се није задржала на базичном *ERP* систему, јер предузећа као пословни ентитети не егзистирају сама, већ у спрези са осталим предузећима. Тако је тенденција у савременом пословању пренета на колаборацију између предузећа, као највиши облик кооперације и сарадње. Међусобним умрежавањем предузећа и њихових информационих система настају *ERP II* системи чија је улога заједничко коришћење информација међу предузећима ради бољег планирања ресурса и реализације свих процеса у предузећу. Дакле, помоћ у бољем управљању ресурсима МСП, као и у бољем оперативном планирању производње, могу пружити информациони системи за управљање – а тиме и за планирање ресурса – у предузећима, познати под називом *ERP* системи (*Selcuk Kilic et al., 2015*). Међутим, сходно високим трошковима имплементације и коришћења *ERP* система (*Antoniadis et al., 2015*), они представљају слабо достижну могућност за мала и средња предузећа. Поред тога, нека *ERP* решења немају могућност оптимизације у управљачким и планерским проблемима у производњи (*Rakićević et al., 2016a*). Као применљиво решење нуди се могућност даљег истраживања проблема планирања ресурса у МСП и развој подршке која је базирана на концепту адекватног оперативног планирања производње/пружања услуга и управљања ресурсима.

### 4.3. Карактеристике и типови производних операција

Процес оперативног планирања, са својим специфичним проблемима, могу се разликовати на неколико начина, у зависности од:

- Типа производних операција;
- Организације производног процеса;
- Места и нивоа залиха у процесу производње као и степена учешћа купаца на карактеристике производа и сам процес производње.

Претходно наведени критеријуми у великој мери касније предодређују моделирање проблема оперативног планирања (*Romero-Silva, Santos, & Hurtado, 2014*). Пре него што се представе специфични проблеми у оперативном планирању производње, неопходно је представити карактеристике и типове производних операције.

Тип производних операција се разликују према нивоу у којем се оне понављају (у којем су репетитивне). Постоји четири основна типа производних операција (*Moore, 2008, стр. 534*):

1. **Појединачна производња** – производња малог обима јединствених производа на машинама опште намене. Сваки производ може бити јединствен и захтева посебан низ корака у процесу производње да би се завршио. Машинска радионица и *Job Shop* проблем идеално представљају овакав тип производње. Понекад међу групом јединствених производа, купци могу захтевати више комада једног производа па се на тај начин реализује и *малосеријска производња* која је намењена за појединачне групе производа, где се свака група састоји од мале количине истих производа. Овај тип производње подразумева висок ниво прилагођавања крајњем кориснику и изражену флексибилност;
2. **Репетитивна производња** или производња која се понавља - подразумева производњу стандардизованих производа у серијама. Два облика производње потпадају у овај тип, то су серијска и масовна производња. Серијска производња подразумева мањи обим производње а већи варијетет од масовне производње, али и мању флексибилност а већи обим од производње појединачног типа тј. *Job Shop* производње.



Мала и средња предузећа највише послују у домену појединачне, малосеријске и серијске производње. Масовна производња је више карактеристична за велика предузећа.

Друга класификација производних операција се односила на основне типове организације производног процеса. Према овој подели постоје:

1. **Фиксан распоред предмета рада** – овакав процес производње је најчешће карактеристичан за сложене производне подухвате и карактерише га пројектни приступ у планирању. Предмет рада има фиксан положај, процеси се организују око предмета рада заједно са свим другим ресурсима (машине, алати, радници) (*Caramia & Dell’Olmo*, 2006, стр. 22). Пример је производња комплексних производних подухвата (изградња великих транспортних средства као што су бродови и авиони; изградња инфраструктурних објекта као што су аутопутеви, мостови, зграде; изградња производних постројења и фабрика). Овакав тип производње карактерише и пројектни приступ планирању. Решавање проблема планирања и распоређивања је у домену техника пројектног планирања. Циљ је временски планирати активности на пројекту које су међусобно зависне (почетак или завршетак неке активности на пројекту може зависити од осталих активности) и чије извођење захтева ангажовање одређених ресурса који су ограничени. Код сложених производних подухвата временски нормативи за поједине активности производње нису унапред прецизно дефинисани (уколико је реч о јединственом сложеном производном подухвату који се први пут реализује без ранијих искустава), те појава случајних и нежељених догађаја може имати велики утицај на производни циклус и његове перформансе успешности. Производни циклус се завршава када се заврши последња активност на производном пројекту. Проблем пројектног планирања и распоређивања ресурса на активности, и самих активности у времену, може се посматрати као производно окружење са неограниченим бројем машина у паралелној вези, где су послови или производне активности међусобно зависне, тј. почетак и завршетак појединих активности зависи од почетка и завршетка других активности на пројекту (*Pinedo*, 2005, стр. 51). Понекад на временски ток активности могу утицати ограничења радне снаге (или неког

другог ресурса), па се поједине пројектне активности не могу одвијати у исто време, иако задовољавају ограничења међусобне условљености почетка или завршетка. Овакав тип проблема се назива ресурсно ограничено пројектно планирање и веома је тежак за решавање;

2. **Процесно организована производња**<sup>4</sup> је тип производње великог варијетета, а малог обима, који се често среће у производним и услужним организацијама. Овај тип производног система карактерише то да је распоред машина организован према процесу обраде, да се производи најчешће праве по наруџбини и значајно разликују у погледу коришћених материјала, захтева операција обраде и њиховог редоследа, као и времена обраде и припреме. Овај тип производње подразумева процесно организован распоред у коме су машине и опрема груписане по истој врсти (тј. послу који обављају). Уколико се обим производње означи са  $Q$ , а број различитих варијетета производа означи са  $P$ , процесно организован распоред је оправдан када је однос  $Q/P$  мали (Вујошевић, 1997, стр. 10–11). У овом производном окружењу, сваки предмет рада, или свака мала група предмета, пролази кроз различит низ операција од једне до друге машине (или машинског центра) у складу са редоследом операција израде сваког производа. Пример оваквог типа производње<sup>5</sup> су: машинска радионица, штампарија, ресторан, болница, итд. Велика предност оваквог начина организације је његова флексибилност, а велики недостатак се може јавити услед великих временских губитака у унутрашњем транспорту. Проблем који се овде посебно истиче је дефинисан питањем: Како одредити редослед производње производа по машинама? Којем производу доделити приоритет тако да се производни циклус смањи? Овакав проблем нарочито долази до изражаја услед ограничености капацитета машина у производној радионици или погону и појаве уских грла у производном процесу. Карактеристичан проблем распоређивања у оваквом типу производње је проблем распоређивања у производној радионици познат под енглеским називом *Job Shop*, и најчешће је присутан у малим и средњим предузећима (*Land & Gaalman, 2009; Stevenson, 2009*);

---

<sup>4</sup> Позната и под називима производња фокусирана на процес, прекидна и радионичка производња.

<sup>5</sup> Производња као општи термин подразумева и „производњу“ услуга тј. услужни процес.

3. **Производња оријентисана на производ** – подразумева производну организацију око производа (тзв. производни распоред) или фамилије сличних производа великог обима и ограниченог варијетета. Уколико се обим производње дефинише са  $Q$ , а број различитих варијетета производа значи са  $P$ , производно организован распоред је оправдан када је однос  $Q/P$  велики (Вујошевић, 1997, стр. 10–11). Овај тип обухвата две врсте: монтажне линије и производне линије. У оба случаја реч је о понављајућој (репетитивној) прекидној, или понављајућој (репетитивној) непрекидној производњи са високим обимом производње.

Монтажне линије – код овог типа производње, производни делови се спајају у низ радних станица (пример: „производња“ тј. монтажа аутомобила и рачунара). Монтажне линије су условљене радним задацима који су додељени појединцима или радним станицама. Проблеми планирања и распоређивања се могу јавити када је производни процес нов или када се производи и њихови модели мењају. Фокус планирања и распоређивања на монтажним линијама је балансирање линије бројним техникама, тако да времена монтаже буду једнака на свим радним станицама. Монтажне линије, стога, могу бити балансиране премештањем задатака са једног појединца на другог. У оваквим производним окружењима, системи аутоматизованог унутрашњег транспорта представљају велико ограничење у формулисању математичког модела. Решења у оваквим проблемима се најчешће базирају на хеуристичким методама решавања.

Производне линије – подразумевају производњу велике количине производа ограниченог варијетета (нпр. производња пива, производња папира). И у овом случају јавља се проблем уравнотежења производне линије. Производне линије су обично условљене радом машина и изискују механичке и инжењерске измене како би се извршило уравнотежење. Свака производна линија се састоји од радних станица коју чине машина, опрема и радници који имају улогу извршавања неке операције обраде. Време потребно за производњу на једној радној станици би требало да буде једнако времену за производњу на другој радној станици. Централни проблем планирања у оваквом типу производње је проналажење редоследа производа или радних

налога који улазе у производни система како би се остварила најбоље перформансе система, као и уравнотежење послова по радним станицама, како би се постигао жељени аутпут, са циљем елиминисања временских губитака у свакој радној станици;

4. **Производња у радним ћелијама** – нешто сложенији тип производње који подразумева груписање машина и радника који су фокусирани на производњу фамилије сличних производа или делова. Фамилије представљају групе сличних производа или делова које захтевају сличне операције обраде. Машине се групишу да би одговарале производњи фамилије делова. У овом типу производне организације остварује се компромис између производње организоване према процесу обраде и производње организоване према предмету рада (Вујошевић, 1997, стр. 10–11).

Према месту и нивоу залиха у процесу производње као и степену учешћа купаца на карактеристике производа и сам процес производње можемо поделити на (Porter, Little, Peck, & Rollins, 1999; Koh & Simpson, 2005; Lečić-Cvetković, Atanasov, & Babarogić, 2010; Stevenson, 2009; Muda, 2011; O'Reilly, Kumar, & Adam, 2015; Лечић-Цветковић & Атанасов, 2015, стр. 158):

1. **Производњу за залихе** (енгл. *Make to Stock - MTS*) – као што је дефинисано у називу овог типа производње *MTS* производно окружење може се дефинисати као производња производа за залихе и испоручивање производа купцу са залиха. То је тип производње у коме купци са својим захтевима не учествују у дефинисању карактеристика производа приликом процеса производње. Наручбине се генеришу када је производ већ пројектован али и произведен од стране произвођача. Овај тип производње карактерише производња великих количина стандардизованих производа који се онда складиште (или држе на залихама) уколико је то економично и у складу са предвиђеном тражњом. Купци поручују производе директно са залиха продајног објекта или из дистрибутивног центра и фабрике;
2. **Производњу према наручбини** (енгл. *Make to Order - MTO*) – за разлику од претходног типа производње, *MTO* представља тип производње у коме се производе широка разноврсност производа али у малим количинама (понекад и само један у врсти, тј. јединствен производ), чинећи да се тешко може

предвидети рок испоруке финалног производа (завршетка свих операција обраде), а путање у производном погону (радионици) веома променљиве. Производи који се производе или склапају су према наруџбинама купаца (*Koh & Simpson, 2005*). Овакав тип производње је чест случај за мала производна предузећа (*Stevenson, 2009*). За јединствене производе који се раније нису производили, може бити нереално очекивати да детаљни подаци о временима припреме и обраде буду унапред доступна у сврху прорачуна рокова завршетка;

3. **Монтажа према наруџбини** (енгл. *Assembly to Order - ATO*) – концепт који користи унапред пројектоване и дизајниране делове и модуле који се склапају и прилагођавају жељи купаца да би се приликом монтаже добили производ жељених димензија и карактеристика. Учешће крајњих корисника није само у куповини и конзумацији производа као код *MTS* већ и у неколико фаза пре финалне монтаже производа;
4. **Инжењеринг према наруџбини** (енгл. *Engineering to Order - ETO*) – у овом типу производње постоји највећи удео учешћа крајњег корисника у производњи производа. Пројектовање свих делова производа, избор материјала, производња делова и њихово даље склапање у финални производ, све зависи од жеља и наруџбине купаца. Како се учешће купаца у инжењерингу, пројектовању и жељама у финалној производњи и крајњим карактеристикама производа повећава, повећава се и време чекања на испоруку (тј. рок испоруке).

На Слици 8 је представљен производни процес различитих типова производње за поједине фазе. Међу производним фазама може се уочити различито време чекања на испоруку производа.



**Слика 8:** Типови производње - ниво залиха и утицај купца на финални производ

**Извор:** модификовано *Deep, Guttridge, Dani, & Burns (2008, стр. 434)*

Повезујући купце, производ и процесе производње, претходни типови производње могу се представити у матрици (Слика 9) која одређује колико су различити типови процеса производње и одређене карактеристике тражње повезани (*Olhager & Wikner, 2000, стр. 213*).

Тип процеса	Тип производа			
	Мали обим Нестандардни Јединствен	Мали обим Више производа	Велики обим Неколико главних производа	Велики обим Стандардни производи
Job Shop	<b>ETO</b>			празнина
Flow shop				
Производна линија	<b>MTO</b>		<b>ATO</b>	
Континуална производња				
	празнина		<b>MTS</b>	

**Слика 9:** Типови производње - организација производног процеса и тражња

**Извор:** *Olhager & Wikner (2000, стр. 213)*

*MTS* и *MTO* представљају највише заступљене типове производње. У Табели 3 упоређене су основе карактеристике и разлике два најзаступљенија типа производње *MTS* и *MTO* (*Porter et al., 1999; Muda & Hendry, 2003; Muda, 2011*).

**Табела 3:** Карактеристике и разлике између *MTO* и *MTS* производње

Извор: *Muda* (2011, стр. 160)

<i>MTO</i>	<i>MTS</i>
Неколико стандардних производа остали производи су према поруџбини	Фокусираност на један производ или једну фамилију производа
Неколико редовних купаца	Доминантни редовни купци
Много снабдевача	Неколико снабдевача
Универзална опрема и машине намењене за извођење више производних активности истовремено, флексибилна радна снага	Специјализована опрема и машине и радна снага
Високо обучена и квалификована и флексибилна радна снага која се често назива и занатлијама	Радна снага која је специјализована само за поједине производне процесе и операције
Нестална тражња која ретко може тачно предвидети	Тражња за производима се може предвидети
Тражња се базира на поруџбеницама купаца које се не могу прецизно планирати унапред	Производња се базира на предвиђеној тражњи. Може се планирати унапред и касније се може подешавати ако је неопходно
Рок испоруке/време реализације (енгл. <i>Lead time</i> ) је од велике важности за задовољство купаца и уговара се према договору са купцима.	Рок испоруке/време реализације није битан крајњем купцу. Углавном се дефинише интерно у оквиру компаније
Цена се уговара са купцем пре процеса производње	Цена је дефинисана од стране произвођача

На основу Табеле 3 примећују се значајне разлике између типова производње *MTO* и *MTS*, при чему су мала и средња предузећа својственија концепту *MTO* (*Muda & Hendry*, 2003; *Stevenson et al.*, 2005; *Muda*, 2011).

#### 4.4. Домен оперативног планирања производње

Оперативно планирање производње је планирање активности које би требало обавити у оперативном, краткорочном периоду (Омербеговић-Бијеловић, 2010, стр. 144-146). Оперативно планирање најчешће, обухвата: а) Планирање краткорочних потреба за производњом, производним ресурсима и њиховим капацитетима; б) Планирање технологије (редоследа извођења операција за поједине производе или његове делове) и распореда производње производа по машинама (преко проблема асигнације послова по радним местима); в) Терминирање - одређивање рокова за почетак и завршетак рада на изради производа и његових делова и на монтажи подсклопова, склопова и производа; г)

Планирање распоређивања извршилаца на активности у пружању услуга; д) Планирање лансирања послова и потребних ресурса у производњу; ђ) Планирање припреме материјала, алата и документације неопходних за производни процес; е) Планирање затварања свих радних места.

Оперативно планирање производње се односи на доношење одлука: шта, када, где и на који начин производити (Лечић-Цветковић & Атанасов, 2015, стр. 168). Различити аутори описивали су домен оперативног планирања производње. Један од првих аутора са ФОНа, професор Милеуснић, дао је следећу дефиницију (Милеуснић, 1980, стр. 307): „*Оперативно планирање производње је планирање активности у припреми и производњи које треба обављати да би се извршавао основни план производње*“. Он, такође, описује домен оперативног планирања преко његових основних активности и задатака (Милеуснић, 1985):

- Оперативно распоређивање и терминирање производње;
- Планирање, праћење и припрема материјала, средстава за рад (машина, опреме и алата) и радне документације;
- Планирање лансирања послова у производњу и обезбеђивање производње кадровима;
- Снабдевање производње планираним елементима неопходним за њено извршавање;
- Диспечирање ради отклањања сметњи, застоја и чекања у производњи, и обезбеђење извршења оперативних планова производње;
- Праћење и евиденција извршења оперативних планова производње.

Исти аутор наводи да су неке побројане активности део оперативне припреме производње и да се све активности могу сврстати у четири групе (Милеуснић, 1980, стр. 308):

- Терминирање и састављање оперативних планова производње;
- Лансирање послова и обезбеђивање производње кадровима и средствима за рад<sup>6</sup>;
- Диспечирање ради отклањања сметњи и обезбеђења извршења оперативних

---

<sup>6</sup> Лансирање послова у производњи је слање у процес производње потребног материјала, специјалног алата и документације у складу са оперативним планом производње (Милеуснић, 1980, стр. 318).



планова производње<sup>7</sup>;

- Праћење и евиденција извршења оперативних планова производње.

Ове четири наведене активности треба да се обављају у складу и у оквирима основног плана производње који саставља служба за планирање и анализу производње. Оперативна припрема производње се разликује од оперативног планирања. Улога оперативне припреме је да припреми и обезбеди снабдевеност и опремљеност радних места потребним ресурсима (у сврху њихове стабилизације и преласка са отвореног на затворена, а потом и стабилизована радна места).

*Vila* и *Leicher* (1972, стр. 323) под оперативним планирањем производње подразумевају: расподелу рада која обухвата терминирање и диспечирање. Под терминирањем подразумевају разраду плана рада сваког радног места у радионици. Под диспечирањем подразумевају се снабдевање радног места и сви припремни радови у радионици како би се рад на радном месту одвијао без застоја. *Vila*, *Štajdl*, *Čala*, и *Karabaić* (1982, стр. 61) дефинишу следеће активности оперативне припреме: терминирање производње, планирање капацитета производних радних места, планирање материјала, израда радне документације, лансирање радне документације у производњу, планирање на нивоу радионице – расподела рада.

Информације које су неопходне за ефикасно оперативо планирање производње су (Лечић-Цветковић & Атанасов, 2015, стр. 169): инжењерски подаци о анализи производа које је потребно произвести (потребне операције, процеси и методе); анализа капацитета машина у производном погону; припрема материјала према врсти, квалитету и количинама за сваки процес и операцију; информације о коришћењу сировина и материјала; карактеристике сваког посла, као и степен образовања и компетентности радника потребних за ефикасно обављање посла; и информације о наруџбинама купаца, испорукама купцима у току, као и намени расположивих залиха.

У литератури новијег датума из домена краткорочног или оперативног планирања у свакодневном пословању производних и услужних предузећа (*Jain & Meeran*,

---

<sup>7</sup> Диспечирање производње односи се на отклањање сметњи у извршавању оперативног плана производње који могу довести до застоја, чекања или некорисног рада у процесу.

1999; Chaudhry & Khan, 2016; Sharma & Jain, 2016), једни од најчешће истраживаних јесу проблеми распоређивања и терминирања у производњи.

Краткорочно или оперативно планирање производње представља један од основних средстава за ефикасно управљање производњом. Краткорочно или оперативно планирање производње има задатак да осигура извршавање унапред задатих производних задатака у погледу квалитета и квантитета, као и у потребним терминима, придржавајући се принципа економичности. Краткорочни план производње полазећи од годишњег плана производње, поставља планске задатке појединим производним одељењима и мањим производним јединицама за краћи временски период (месец, недеља). Разрада плана треба да дефинише шта по количини, асортиману, квалитету и термину треба да реализују мање производне јединице.

Оперативним плановима се за одређени плански период прецизира које операције, делови и производи треба у том периоду да се ураде и са којим временским трајањем, затим, које операције треба да се врше на сваком производном радном месту, којим редом и колико треба да буде њихово трајање. Оперативним плановима се дакле постиже висок степен детаљности производних задатака у одређеном временском периоду. Дужина оперативног периода зависи од облика производње и величине производних серија, али би требао да буде што краћи јер се на тај начин обезбеђује најуспешније прилагођавање производње захтевима тржишта. У зависности од организације посла, оперативни планови се могу даље разрађивати по одељењима, по сменама, по производним линијама, али и за свако радно место. Овакви најдетаљнији и најконкретнији планови називају се фини планови.

Детаљно описан домен оперативног планирања производње у овом делу, може пружити довољне аргументе за потврђивање хипотезе: **X(1.2):** *Могуће је дефинисати домен оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП.*

**Значај оперативног планирања производње** за управљање производњом је веома велики. Извршење годишњег плана производње предузећа зависи од извршења оперативних планова. Оперативни планови производње су инструмент

руковођења, у настојањима да се годишњи планови постепено остварују, уз рационално ангажовање свих производних ресурса. Оперативни планови производње, израђени у виду месечних производних планских задатака који произилазе из текућег годишњег плана, закључених уговора о испоруци одговарајућих производа, расположиве радне снаге, и тако даље, обезбеђују у датим условима најрационалнији распоред радних задатака на појединим радним местима. Имајући у виду да непосредно претходе процесу реализације производње, они могу да најпре омогуће сагледавање одступања од планираних величина у реализацији. На тај начин могу сигнализирати на проблеме, одступања и сметње које је организационим мерама неопходно превазићи.

Значај оперативног планирања производње види се из циљева чије остварење оперативни планови производње треба да обезбеде (Управљање производњом уз примену компјутера, *ORG Manual*: интегрално управљање производњом, 1982):

- Извршење уговорених обавеза према роковима купца, односно интерним роковима за прилив робе у складиште (ако се производи за складиште);
- Боље искоришћење капацитета у датим условима и њихово равномерно оптерећење;
- Откривање уских грла производње и умањење или елиминисање њиховог ефекта;
- Подршка ефикасном управљању производњом, како би се у сваком тренутку, за сваку операцију, део или производ, могло утврдити кроз које фазе рада су прошли, у којим се фазама рада налазе и које им фазе рада још преостаје;
- Увид у степен извршења задатака постављених планом, како би се заостаци у производњи пренели у наредни плански период.

Основни проблем оперативног планирања производње је дефинисан следећим питањем: Како и на који начин, уз обезбеђење рационалног коришћења расположивих ресурса, тј. расположивих капацитета и што потпунијег и рационалнијег коришћења расположиве радне снаге, уз благовремену припрему потребног материјала и алата за извршавање производних операција на појединим радним местима, ускладити производњу по обиму и асортиману у појединим фазама технолошког процеса, како би се обезбедило благовремено извршавање наруџбина купаца?

За оперативно планирање производње потребно је располагати следећим подацима: годишњим динамичним планом производње; подацима о примљеним наруџбинама купаца; уговорима са купцима о испоруци производа; подацима о залихама појединих производа; стањем стварно расположиве радне снаге; планом инвестиционих поправки машина у периоду оперативног планирања; стањем припреме техничке и технолошке документације за поједине производе; нормативима времена за сваки део производа и сваку радну операцију; стањем потребних помоћних средстава; показатељима извршења оперативног плана производње у претходном периоду оперативног планирања итд.

У оперативном планирању производње се могу, од једног до другог оперативног планског периода, постављати различити циљеви предузећа. У једном периоду то може бити оптимално коришћење машина, а у другом оптимално коришћење радне снаге, у трећем смањење залиха материјала, у четвртом смањење залиха готове робе. У зависности од економских циљева неког предузећа, оперативним плановима производње треба постићи такву комбинацију расположивих ресурса који ће у датом тренутку дати оптималне финансијске резултате.

Оперативни план се поставља за релативно кратак период, како би могли, реално и прецизно, да се организују и планирају ресурси производње од којих у великој мери зависи извршење оперативног планирања. Од реалне и прецизне оцене фактора производње (тј. ресурса) зависи и реалност оперативног плана. Фактори од значаја (значајни ресурси) за оперативно планирање су:

- Тржиште (наруџбине купаца) - са становишта оперативног планирања производње, када се ради о плановима за релативно кратак временски период, предузеће не може да предузме одговарајуће организационе или инвестиционе мере, у циљу прилагођавања захтевима тржишта. Овакве мере су могуће у текућим и средњорочним плановима. Оперативним планирањем треба, на основу расположивих ресурса и захтева тржишта у том тренутку, изнаћи оптимално решење у циљу постизања максималног профита. У организацијама са појединачном и малосеријском производњом послови, по правилу, морају бити уговорени унапред, за време чак и дуже од месец дана. Међутим, у организацијама са масовном, па и великосеријском производњом није такав случај јер се ради о стандардним производима масовне потрошње,

које купци наручују са складишта према својим потребама;

- Расположивост капацитета - израчунавање капацитета средстава за рад нам омогућава да одредимо производну могућност сваког производног система. Под капацитетом неког средства за рад подразумевамо његову техничку способност да може да изради део или цели производ (Омербеговић-Бијеловић, 2006). Како сваки рад на машини има и своју економску вредност, може се рећи да капацитет средства за рад подразумева техничку, организациону и економску способност да учествује у изради производа (Омербеговић-Бијеловић, 2006). Капацитети и њихова расположивост на кратак рок су од великог значаја за процес оперативног планирања производње (Омербеговић-Бијеловић, 1991, стр. 132–139);
- Расположивост материјала - Да би оперативни план производње могао бити прецизно постављен, потребно је да се има тачан увид у стање материјала за израду. У начелу, оперативним планом не треба разматрати производњу оних производа за које у магацину не постоји одговарајућа залиха материјала. Ако се план поставља за један месец унапред, потребно је да се располаже једномесечном залихом материјала за сваки производ. У противном, постоји опасност од поремећаја у извршењу плана ако материјал не би стигао благовремено. Требало би сматрати обезбеђеним материјалом не само оне количине које су у магацину сировина, него и оне за које је сигурно да ће пристизати у оперативном планском периоду према унапред утврђеној динамици, чије поштовање значи обезбеђење континуитета производње. Код израде оперативних планова потребно је, значи, располагати количином материјала у магацину сировина, али и договореном динамиком пристизања материјала. На основу овога треба сачинити преглед покривености машина или количина производа одговарајућим врстама материјала, узимајући, при томе, расположиве количине у магацину сировина и договорену динамику пристизања одговарајућих врста материјала. Све оне производе чије су количине покривене расположивим материјалом у магацину за оперативни плански период, или су покривене једним делом динамиком пристизања материјала, или ако су потребне количине обезбеђене договореном динамиком током оперативног планског периода, треба узимати у

оперативни план производње. Оне производе који нису покривени расположивим материјалом из магацина, а договорена динамика приспећа материјала не обезбеђује континуитет производње, не треба узимати у оперативни план јер ће у противном доћи до поремећаја у производњи због недостатка материјала;

- Расположивост радне снаге: С обзиром на то да је радна снага врло значајан фактор производње и читавог процеса репродукције, неопходно је прецизно планирање потребне радне снаге у предузећу за одговарајућу временску јединицу. Другим речима, као што је потребно утврдити капацитет машине да би се утврдиле могућности оптерећења тог капацитета, оперативним планом производње потребно је, такође, утврдити и са којом радном снагом се располаже, односно, потребно је пре утврђивања оперативног плана производње проверити да ли се располаже одговарајућом радном снагом или дефинисати потребан број радника за производне активности.

#### **4.5. Проблеми у оперативном планирању производње и управљању ресурсима**

Производне системе најчешће карактеришу бројни фактори: број производних ресурса (машина, опреме, алата, радника), њихови капацитети, њихове карактеристике и конфигурација, ниво аутоматизације, тип система за манипулисање у унутрашњем транспорту. Разлике у бројним карактеристикама проузрокују постојање различитих типова производног процеса. Различити типови производних процеса изискују употребу различитих модела у планирању, а самим тим и у распоређивању производње (*Heizer & Render*, 2011, стр. 387, 619–620). Сви ти модели имају сличности, али и специфичне разлике.

На основу прегледа литературе може се закључити да се, у страној литератури проблем оперативног планирања најчешће помиње у контексту проблема распоређивања (просторни распоред радних места и машина, додељивање производних налога машинама и радним местима, тј. распоређивање радних налога за производњу/монтажу конкретних делова на конкретним радним местима и машинама) и проблема одређивања редоследа (дефинисање приоритета радних налога у извршавању активности на машинама, тј. одређивање временског

распореда као резултат дефинисаних приоритета). Ови проблеми су најчешће означени јединственим појмом или термином „распоређивање“ (енгл. *Scheduling*). Два кључна проблема у распоређивању производње су: а) Дефинисање приоритета и б) Одређивање радног места/машине на коме конкретни послови (обrade производа или монтаже делова производа) треба да се обаве (па и одређивање њиховог потребног капацитета). Другим речима ти проблеми садржани су у питањима „Шта треба урадити прво? и „Ко треба то да уради? (Herrmann, 2006, стр. 1).

Прегледом референци из домаће литературе проблем оперативног планирања је углавном дефинисан кроз неколико следећих проблема: а) Проблеми распоређивања у оперативном планирању производње; б) Проблеми терминирања у оперативном планирању производње; в) Проблеми међуоперационих залиха; г) Проблеми одређивања дужине трајања оперативног периода.

#### **4.5.1. Категоризација проблема и њихово моделовање**

Због чињенице да су производни и услужни системи постали веома сложени, по структури и садржају, најчешћи начин истраживања и решавања проблема у науци о менаџменту је путем њиховог моделовања. Под појмом модел подразумева се, у општем случају, „пресликан“ одређени део објективне стварности (Лечић-Цветковић & Атанасов, 2015, стр. 90). Модел представља апстрактни опис реалног света. Он је увек поједностављен приказ знатно комплекснијих структура, процеса, функција, физичких или друштвених збивања или идеја (Лечић-Цветковић & Атанасов, 2015, стр. 90). Основне карактеристике према којима се може извршити главна класификација модела су облик и садржај модела. С обзиром на облик у којем се модел представља, постоје следеће врсте модела (Годоровић & Лечић-Цветковић, 2005; Лечић-Цветковић & Атанасов, 2015, стр. 92):

- Вербални модел – представља опис неког система исказан речима, тј. исказан једним од људских језика а записан у форми. Састављање вербалног модела понекад представља прву фазу у процесу моделирања, а понекад је од помоћи и приликом прављења графичког модела и математичког модела;
- Графички модел – користи графичка средства попут блок дијаграма и

симболе којима се приказује одређени систем, али без тачно одређених квалитативних и квантитативних особина оригиналног система;

- Математички модели – представљају највиши степен апстракције, ови модели користе одређене математичке симболе за означавање променљивих или параметара оригиналног система, а односи и везе између њих изражавају се помоћу математичких и логичких релација. По правилу, математички модели се највише користе при експериментисању, јер се лако мењају величине појединих параметара. Основни недостатак математичког модела односи се на чињеницу да он представља знатно поједностављење стварности, односно оригинала;
- Аналогни модели – користе особине једног физичког система да би се представиле особине другог физичког система. На тај начин се успоставља одређена аналогија између разнородних физичких величина. Аналогни модели представљају најкомплетније облике модела.

Највећу примену у науци о менаџменту имају математички модели. Поступак изградње математичког модела блиско следи општи научни метод и може се приказати у следећих девет фаза, које се могу понављати, односно, у свакој итерацији могуће су, мада се не могу и препоручити, повратне спреге и враћања на неку од претходних фаза (Крчевинац и други, 2004, стр. 9):

- 1) Дефиниција циљева - први задатак је утврдити који проблем доносилац одлука или „корисник“ модела жели да реши коришћењем модела. Постављање циљева, који се моделирањем решавају, мора бити у складу са задатим временским и трошковним ограничењима. У овој фази истраживач блиско сарађује са корисником модела и стиче неопходна знања о систему који се моделира;
- 2) Планирање истраживања - пошто постоје одговарајућа временска, кадровска, трошкова и друга ограничења, моделирање захтева брижљиво планирање. План самог пројекта садржи временски план или распоред, план ангажовања кадрова као и планиране трошкове. Резултат планирања истраживања треба да пружи податке о неопходним и расположивим кадровским и финансијским ресурсима, као и времену потребном за моделирање;
- 3) Формулација проблема – ова фаза је од фундаменталног значаја за успех



моделирања. У овој фази се обезбеђују сви потребни подаци за фазу грађења модела. Први задатак ове фазе је одлучити да ли је потребно посматрани проблем декомпоновати на већи број мањих проблема који се даље могу појединачно решавати или не. Декомпозицијом истраживач дефинише подмоделе са којима се може успешно борити. Други задатак се односи на утврђивање нивоа детаља у којима ће проблем бити решаван. У овој фази је значајно утврдити критеријуме на основу којих ће се мерити ефективност решења;

- 4) Формирање модела - у овој фази се врши конструисање модела који представља релације између променљивих, које описују контролабилне особине објеката разматрања, и параметара или коефицијената који описују константне особине објеката, релација које између њих постоје, као и критеријума ефективности решења. Најчешћи облик модела операционих истраживања, тзв. математички програм, се састоји од функције чија се оптимална вредност тражи и скупа ограничења која дефинишу допустиви скуп решења. Решење даје оптималну или екстремну (минималну или максималну) вредност функције циља и мора да задовољи сва постављена ограничења.

Општи облик модела математичког програмирања:

$\max F(x)$ <p>п.о.</p> $g_i(x) \leq 0, i=1,2,\dots,m \text{ где је:}$ <p><math>F(x)</math> – функција циља чији се екстремум тражи;</p> <p><math>g_i(x)</math> – функције које описују ограничења којих има укупно <math>m</math>;</p> <p><math>X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T</math> – вектор колона са <math>n</math> променљивих чије се решење тражи у овом моделу;</p>
--

- 5) Избор методе решавања - следећа фаза се односи на одређивање нумеричког или аналитичког начина за решавање модела. Код избора метода често се дешава да се она сведе на: налажење оптималног решења упрошћене верзије проблема или на налажење приближног решења тачне формулације проблема;
- 6) Програмирање и тестирање - велики број модела операционих истраживања,

а поготову модела математичког програмирања се ради решавања преводе у рачунарске програме. Тестирање се своди на формалну проверу исправног рада програма са одговарајућим тест подацима;

- 7) Прикупљање података - у овој фази се прикупљају подаци потребни како за тестирање програма у претходној фази тако и за практичну примену модела у фази имплементације. Овде је потребно посветити доста пажње тачности улазних података, јер ако они нису добри долази до погрешних резултата;
- 8) Валидација – представља проверу слагања резултата модела са реалним системом, односно испитивање конзистентности, осетљивости, као и применљивост посматраног модела. Конзистентност модела се испитује у односу на логичност резултата при промени параметара модела до екстремних вредности. Осетљивост модела се проверава на мале промене улазних података. Применљивост се односи на лакоћу коришћења, као и решавања модела;
- 9) Имплементација - последња фаза се, наравно, односи на саму примену датог модела у пракси. Она се не односи само на конкретну примену, већ и на обезбеђивање потребних ресурса, одржавање потребних обука и слично.

С обзиром на комплексност проблематике, у наставку рада се детаљније представљају неки од карактеристичних проблема оперативног планирања производње.

#### **4.5.2. Проблем распоређивања и оперативно планирање производње**

Проблем распоређивања (енгл. *Scheduling*) је део процеса планирања (најчешће краткорочног и оперативног планирања) у свакодневном пословању производних предузећа. Распоређивање се дефинише као процес оптимизације алокације ресурса унапред током времена. Током алокације ресурса одлучује се када и са којим ресурсима ће се послови обавити. Стога се распоређивање односи на лоцирање ресурса на активности и задатке током временских периода (*Caramia & Dell'Olmo, 2006, стр. 23*).

Проблем распоређивања у ширем смислу обухвата (*Błażewicz et al., 2007; Leung, 2004; Pinedo, 2012*): (1) проблем асигнације (енгл. *Assignment*) - додељивања одређених производних и услужних активности радним центрима (који чине људи

и машине који имају ограничен капацитет), као и (2) проблем одређивања редоследа обављања одређених производних и услужних активности (енгл. *Sequencing*) по машинама и извршиоцима и њихово терминирање тј. дефинисање временских термина за почетак и завршетак. Проблем распоређивања се може дефинисати као проблем одређивања просторног и временског распореда извршавања производних и услужних активности и операција рада као и дефинисање потребних ресурса за извршавање тих активности (*Blazewicz, 2007*). Познато је да неки од таквих проблема могу бити: одређивање распореда и редоследа производње производа по машинама, редоследа извођења активности на пројекту, распореда транспортних средства и њихових посада у процесу транспорта, распореда извршилаца у процесу пружања услуга и многи други.

Проблем распоређивања у производњи се састоји у додељивању операција обраде производа машинама на свакој фази обраде и дефинисању редоследа којим се производи обрађују на машинама а све у циљу минимизације критеријумске функције. Дакле, проблеми решавања редоследа и распореда (производа, активности) у производњи и пружању услуга су на нивоу краткорочног (оперативног) планирања и имају важну улогу у целокупном процесу планирања производње и пружања услуга. Такви проблеми распоређивања у реалним случајевима су великих димензија и најчешће *NP*-тешки проблеми, па се за њихово решавање (због немогућности примене ефикасних егзактних метода) најчешће користе једноставне хеуристике у виду дефинисаних правила распоређивања, као и сложене хеуристике у виду метода локалног претраживања или вештачке интелигенције.

Према *Pinedo* (2012, стр. 1), распоређивање подразумева процес одлучивања о лоцирању ограничених ресурса на задатке - током времена, са сврхом да се „распоред“ оптимизује по једном или више критеријума. Распоређивање је једна од најважнијих функција подршке процесу производње (*Gaalman & Perona, 2002*). Практично она настоји да утврди редослед, време почетка и време завршетка послова, који се извршавају средствима тј. ресурсима чија је расположивост ограничена (*Gaalman & Perona, 2002*). Традиционално посматрано, распоређивање у производњи је проучавање редоследа производних задатака на једној или више машина, које могу имати различите карактеристике и под

извесним скупом ограничења (*Blazewicz, Moseley, Pesch, Trystram, & Zhang, 2016*). Ограничења могу изражавати ограничену количину расположивих ресурса, са сврхом оптимизације жељеног циља и постизања квалитета пружене услуге у систему (*Blazewicz et al., 2016*). Страна литература обједињује проблеме распоређивања и терминирања у појам енгл. *Scheduling*, и ако се у домаћој литератури, проблеми и појмови распоређивања и терминирања засебно наводе. У домаћој литератури се под проблемом распоређивања подразумева углавном само проблем асигнације или додељивања, поред којег се јавља и проблем дефинисања редоследа обављања одређених активности - што се дефинише појмом терминирање (Омербеговић-Бијеловић, 1986). Док страна литература под енглеским термином распоређивање (енгл. *Scheduling*) подразумева и временско распоређивање по појединим терминима (терминирање). Овај проблем ће бити детаљније објашњен накнадно.

Проблем распоређивања (асигнације) се може представити и моделирати преко проблема целобројног програмирања (Крчевинац, Чангаловић, Ковачевић-Вујчић, Мартић, & Вујошевић, 2004, стр. 272–273): Распоредити  $n$  послова на  $n$  машина, сваки посао (операција обраде производа на машини) распоредити на по једну машину, тако да утрошак времена буде најмањи. Позната је временски норматив  $p_{ij}$  машине  $i$  док извршава посао  $j$  за  $i, j \in \{1, \dots, n\}$ . Модел представљен проблемом бинарног програмирања има следећи облик (Крчевинац и други, 2004, стр. 273):

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, \dots, n \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n$$

При томе је  $x_{ij} = 1$ , ако и само ако је  $j$ -ти посао додељен на извршавање  $i$ -тој машини. Ограничење (1) означава да је један посао додељен само једној машини. Ограничење (2) означава да свака машина може бити ангажована на обради само једног посла.

Проблем асигнације се може решавати методама које се у операционим истраживањима користе код решавања транспортног проблема (Омербеговић-Бијеловић, 2006, стр. 183): Метода северозападног угла, метода најмањих цена, Вогелова метода, метода скакања са камена на камен, метода потенцијала, и Модифицирана метода. Омербеговић-Бијеловић, (2006, стр. 184) у представља и методу значајних разлика. Метода значајних разлика се користи у асигнацији производа који се израђују у једној операцији (или групи операција) које се изводе на једној машини, при чему више врста машина може да ради исти посао – са различитим нормативима. Примери примене методе не морају бити карактеристични само за производњу производа у једној операцији попут израде вијака, матица, закивака, ексера, већ и у услужној делатности у процесу распоређивања послова на извршиоце. Када се изврши грубо додељивање капацитета машина појединим производима, онда се могу посматрати и различите операције на једном производу. Циљ је да се што већи део послова обави са што мање ангажовања машина. При томе су ограничења – расположиви капацитети машина. Суштина ове методе је да разлика норматива обављања послова на доступним машинама одређује приоритет машине у додељивању извршавања тог посла. Приказ примене методе дат је у Прилогу 1а на крају дисертације.

Генерално посматрано, модели планирања и распоређивања међу предузећима се најчешће разликују у зависности од природе операција (производње и пружања услуга), обима пословних активности (обим производње и пружања услуга, наруџбине сировина и материјала), укупне комплексности посла као и значаја који се придаје сваком од следећих критеријума:

- Минимизација времена завршетка послова: Овај критеријум се оцењује одређивањем просечног времена завршетка по послу;
- Максимизација искоришћености средстава за рад (и њихових капацитета): Одређује се као процентуални однос оствареног и расположивог капацитета;
- Минимизација залиха недовршене производње: Оцењује се одређивањем просечног броја послова у систему. Уколико је број послова у систему велики, и залихе недовршене производње ће бити велике;
- Минимизација времена чекања купаца: Оцењује се одређивањем просечног броја дана кашњења.

Ова четири критеријума се користе за оцењивање перформанси планирања. Поред тога, глобални циљ планирања би требало да буде оптимизација коришћења ресурса како би се постигли циљеви производње или пружања услуга, а не треба заборавити ни ниво задовољавања потреба купаца дефинисан преко индикатора нивоа услуга купцу, енгл. *Customer Service Level* (Babarogić, Makajić-Nikolić, Lečić-Cvetković, & Atanasov, 2012; Makajić-Nikolić, Babarogić, Lečić-Cvetković, & Atanasov, 2014).

Проблеми распоређивања нису увек карактеристични за краткорочно (оперативно) планирање производње. Дobar пример да се проблеми распоређивања могу користити и током дугорочног вишегодишњег планирања су рудници у којима се копа руда. Велики светски рудници користе приступ математичког програмирања да развију дугорочни производни план и распоред (Newman, Martinez, & Kuchta, 2006). Проблем планирања и распоређивања у производњи је да се за наредних пет година одреди који део рудника ће се експлоатисати сваког месеца. Различити делови рудника садрже различите количине, најчешће три врсте руде. Циљ је да се минимизује укупно одступање од жељене количине сваке врсте руде током сваког месеца (Herrmann, 2006; Newman et al., 2006).

У овом раду, због претежног коришћења стране литературе, под проблемом распоређивања се подразумева проблем одређивања распореда и редоследа производних и услужних активности на машине и извршиоце.

#### **4.5.3. Проблем терминарања и оперативно планирање производње**

Процес терминарања се може дефинисати преко неколико следећих дефиниција.

„Терминарање (тј. планирање термина) је одређивање редоследа лансирања производа“ (Омербеговић-Бијеловић, 1986, стр. 6). Начин да се то одреди и прецизира је распоређивање послова или радних налога по радним местима, машинама или извршиоцима (Омербеговић-Бијеловић, 1986).

„Терминарање је проблем временског распоређивања произвољног броја делова (машинских или других) на произвољан број машина“ (Милеуснић, 1980, стр. 309).

„Терминарање производње је одређивање рокова за израду производа (производњу

*делова, подсклопова, склопова и целог производ)* односно његових серија и протока у временском периоду“ (Милеуснић, 1980, стр. 309). Терминирање се обавља за појединачну производњу или серијску производњу, у зависности од врсте производње. У појединачној и малосеријској производњи, где постоји шири асортиман производа, пожељно је планирати производњу да она обезбеди залихе у међуфазном складишту, тако да се монтажа врши коришћењем ових залиха. У великосеријској и масовној производњи пожељније је обезбедити непрекидност у производњи делова и монтаже производа (Милеуснић, 1980, стр. 309–310).

*„Терминирање је одређивање динамике производње; то је одређивање рокова када производња неких производа треба да буде завршена и одређивање рокова када треба отпочети поједине послове из те производње да би она могла да буде завршена до претпостављеног рока“* (Рађеновић 1978, стр. 134). Рокови завршетка производње неких производа зависе од времена почетка њихове израде и дужине трајања свих послова од којих се њихова израда састоји. Израда појединих делова обавља се са технолошки дефинисаним бројем операција, за које је познат: редослед извођења операција по машинама, као и време трајања израде појединих операција (Рађеновић, 1978, стр. 135). Одредити оптимални редослед послова подразумева наћи правило првенства послова пред радним местом тј. машином, које ће омогућити да се постигну оптимални резултати у управљању производњом са аспекта дефинисаних критеријума оптимизације. Значај терминирања производње је веома велики, јер се терминирањем производње омогућава благовремена испорука производа, извршавање уговорених обавеза према пословним партнерима и синхронизовање послова у динамици производње у сврху њене реализације уз што потпуније коришћење расположивих капацитета, смањење трошкова и побољшавање укупних резултата пословања.

*„Под терминирањем се подразумева и: прорачун дужина трајања производног циклуса, одређивање почетних и завршних термина за операције производње делова, односно монтажу производа и склопова, одређивање редоследа лансирања по радним местима и временским периодима, одређивање рокова израде производа, односно серија производа“* (Омербеговић-Бијеловић, 1986, стр. 6).

*Cox* и *Blackstone* (2005) дефинишу детаљно распоређивање као тренутно додељивање времена (термина) почетка и завршетка, операцијама или групама операција, да би се показало када оне морају бити завршене ако производни налог треба да се реализује у року (*Herrmann*, 2006, стр. 2). Ова дефиниција је позната и под називом распоређивање операција или распоређивање производних налога.

У даљем тексту докторске дисертације рада ће се под термином распоређивања посматрати и процес просторног и временског распоређивања (тј. терминирања). Конкретизација проблема распоређивања и терминирања биће представљене у делу: „4.7.1 Опис проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима“.

На основу детаљно и прецизно описаних појмова распоређивање и терминирање у потпоглављима 4.5.2 и 4.5.3, може се потврдити следећа хипотеза: **X(2.3.1):** *Могуће је дефинисати проблем распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње МСП.*

#### **4.5.4. Проблеми међуоперационих залиха и оперативно планирање производње**

С обзиром на значај трајања производног циклуса за број обрта ангажованих средстава, те и за читав пословни резултат, то се, по правилу, у пословном моделовању, најважнијим критеријумом сматра управо та перформанса оперативног плана. Дакле, посматра се као генерички индикатор „Трајање циклуса“ и изражава у јединицама времена за посматрану серију производа. Уз тај индикатор, посматра се и „пакет“ изведених индикатора: Прекорачење рока – по производима или радним налозима; укупно прекорачење рокова – по производима, радним јединицама, временским периодима и др.; просечно прекорачење рока – по производима/налозима, по временским периодима, по радним местима; трошак прекорачења рока; део планиране производње који није завршен на време (у року) – изражено у процентима, и сл. Потом се посматрају други критеријуми квалитета решења из оперативног плана: међуоперационе залихе, искоришћеност капацитета средстава за рад, равномерност ангажовања радника и других ресурса (простора, флуида, енергије) и сл. Посматрање свих поменутих карактеристика производње (перформанси квалитета управљања



производњом) се среће у различитим радовима, али њихово посматрање у случајевима управљања и оперативног планирања производње, и то производње у МСП, не среће се нигде.

За решавање проблема залиха генерисане су бројни модели, почев од *EOQ* (енгл. *Economic Order Quantity*) модела, али се о међуоперационим залихама говори ретко и скромно, нарочито у контексту оперативног планирања производње. Међуоперационе залихе представљају недовршену производњу која настаје када делимично обрађени или склопљени производи чекају између појединих фаза тј. операција обраде или монтаже. У страниј литератури међуоперационе залихе познате су под следећим називом: енгл. *Work in Process* или *Work in Progress* (*WIP*), и представљају делимично завршене производе који чекају на завршетак и даљу продају (*Work in Process*, 2017). *Caramia* и *Dell'Olmo* (2006) дефинишу *WIP* као број налога у производном систему који није завршен.

Оптимално управљање производним процесом има за циљ и минимизацију недовршене производње тј. међуоперационих залиха. Жеља за минимизацијом недовршене производње која се манифестује као залиха између појединих операција, је у томе што представља везани капитал тј. новчана средства која не могу бити даље инвестирана. Поред тога међуоперационе залихе захтевају и простор за „чекање на даљу обраду“ тј. складиштење и на тај начин могу довести до оперативних проблема у процесу регулисања производње. Један од значајних закона израчунавања који се односи на међуоперационе залихе је Литлов закон (енгл. *Little's Law*). Према овом закону (*Hopp & Spearman*, 2000, стр. 223), количина недовршене производње се може одредити као производ времена трајања производног циклуса (*CT*) и протока тј. количине производа који се обраде и заврше у јединици времена (*TH*):

$$WIP = TH * CT$$

где су:

*CT* – (енгл. *Cycle Time*) време трајања производног циклуса;

*TH* – (енгл. *Throughput*) проток тј. количина производа која се заврши у јединици времена.

*WIP* у процесу производње може се рачунати и представити на неколико начина:

укупан број делова, укупан број радних налога, укупно планирано време реализације активности недовршене производње (Lödding, 2012, стр. 336).

Разматрају се производња делова и њихово складиштење (у међуфазна складишта, која, физички, могу бити део производног и магацинског простора) до тренутка кад се лансира монтажа. Како монтажа може да има више фаза (склапање делова у подсклопове, склапање подсклопова и делова у склопове, као и склапање склопова, подсклопова и делова у готове производе), тако се, у конкретном предузећу, могу организовати међуфазна „складишта монтаже“. Посебно значајним се сматрају „међуоперациона складишта“. Кад је реч о операцијама производње делова, између два места на којима се изводе „суседне“ операције (прописане технологијом) може доћи до нагомилавања делова обрађених у претходној операцији који чекају на обраду у следећој операцији. Стога се мора одредити простор између радних места на којима се изводе две поменуте операције – по локацији, величини, начину ангажовања и сл. Овде се, за сада, само указује на овај феномен и на факторе који утичу на величину (површину, па и запремину) међуоперационих залиха.

Решење проблема распоређивања и одређивања редоследа производа и радних налога значајно може утицати на ниво недовршене производње. Ако се посматра један производни систем, што је већи ниво недовршене производње и радних налога на чекању, то је значајнији утицај, на производне перформансе, и може се остварити адекватним избором методе распоређивања и одређивања редоследа (Lödding, 2012, стр. 455).

Понекад у процесу распоређивања и терминирања, мора се водити рачуна о ограничениости производног простора тј. простора за међуоперационе залихе. Захтеви овог типа могу наметнути ограничења која се односе на укупан број послова или производа који се може наћи у производном систему. Ограничене међуоперационе залихе могу наметнути и захтев да производи не могу чекати на обраду између две операције, као и да временски почетак обраде на наредној фази мора почети одмах или након тачно одређеног времена које протекне од временског тренутка завршетка претходне фазе.

#### **4.5.5. Оперативно планирање производње и проблем одређивања дужине трајања оперативног периода**

Дужина оперативног планског периода представља проблем који се не може „шаблонски“ и униформно решавати. Поставља се питање: Која је најпогоднија дужина оперативног-планског периода? Интуитивно се може закључити да и дужи и краћи оперативни плански период имају својих добрих и лоших страна, па је најбоље да свака организација, на основу својих специфичности и својих циљева, одреди за себе дужину оперативно- планског периода.

Код дужег оперативног планског периода јављају се следеће предности:

- Могућност бољег организовања свих служби;
- Боље искоришћење расположивих капацитета;
- Једноставније руковођење и синхронизовање производње.

Међутим код дужих оперативних планских периода јављају се и следећи недостаци:

- Нереалност планова;
- Производња за залихе уместо за познатог купца;
- Повећање залиха готове робе;
- Веће ангажовање средстава, па су издвајања за камате већа, итд.

Са друге стране, краћи оперативно-плански период има следеће карактеристике:

- Потребна је већа ангажованост свих служби, а такође тежа је укупна организованост;
- Коришћење капацитета је ниже због већег броја промена;
- Планови су реалнији;
- Производи се за познатог купца; рокови се поштују и смањују се залихе готове робе.

Водећи рачуна о специфичностима пословања организација и њиховим циљевима утврђеним текућим плановима, треба одредити такав оперативни плански период којим ће се на најрационалнији начин остварити циљеви организације, уз истовремено задовољење захтева тржишта.

Према Омербеговић-Бијеловић (2005, стр. 224) обично се оперативни планови

односе на кратак период (месец дана, седмица, дан) и ти периоди (терминске јединице) се, уобичајено је, сматрају непроменљивим (за свако предузеће одређене делатности). Међутим, исти аутор указује на случајеве (што је правило у МСП), да се на истој опреми производи више врста производа (у разумно малим/великим серијама), узастопно (уз постојање залиха тих производа); у таквим случајевима се мења дужина оперативног периода (у оквиру истих терминских јединица). Колико заиста траје оперативни период одређује се помоћу Методе за утврђивање дужине оперативног периода за производњу једне серије истих производа (Омербеговић-Бијеловић, 2005, стр. 224). Према Омербеговић-Бијеловић (2005), предност се даје производима или деловима са мањом вредношћу тог индикатора - којим се мери покривеност тражње залихама.

Има аутора који указују на исти индикатор, повезујући га са дужином времена/трајања залиха сировина, материјала, делова и склопова или готових производа, ако се реализује предвиђена тражња за истим (*Makajić-Nikolić et al.*, 2014, стр. 224).

Пример примене методе за утврђивање дужине оперативног периода за производњу је дат у Прилогу 16.

#### **4.6. Решавање проблема у оперативном планирању производње и управљању ресурсима**

У наредном делу дисертације представљена је категоризација проблема распоређивања уз стандардизацију означавања појединих специфичности у проблемима који се посматрају (дефинисаних преко стандардне нотације). Такође у овом потпоглављу представљена је и комплексност проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње и управљању ресурсима. Такође, назначен је и начин решавања оваквих проблема, где доминирају модели операционог менаџмента и операционих истраживања, као и методе решавања.

##### **4.6.1. Категоризација проблема распоређивања и терминирања, специфичности означавања**

Модел проблема распоређивања зависан је од самог типа проблема распоређивања. Конфигурација производног или услужног система у великој

мери предодређује и тип проблема распоређивања (Romero-Silva et al., 2014). Једну од најзначајнијих класификација проблема распоређивања дали су Graham, Lawler, Lenstra, и Rinnooy Kan (1979, стр. 5). Они моделе распоређивања класификују коришћењем нотације  $\alpha|\beta|\gamma$ . Поље  $\alpha$  описује производно окружење проблема распоређивања. Поље  $\beta$  означава информације о карактеристикама производа које је потребно обрадити и ограничењима процеса распоређивања. Поље  $\gamma$  садржи информације о критеријумској функцији која се користи у процесу оптимизације проблема распоређивања. На тај начин у зависности од ознака које се наводе у пољима  $\alpha|\beta|\gamma$  могу постојати различити проблеми распоређивања и терминирања у производним и услужним процесима. Наредне ознаке и скраћенице које се наводе су преузете на основу анализе следеће литературе (Błażewicz et al., 2007; Pinedo, 2009, 2012; Sun, Zhang, Gao, & Wang, 2011).

Поље  $\alpha$  представља информације о производном окружењу или конфигурацији машина), а на том месту се могу пронаћи следеће ознаке:

(1) енгл. *Single Machine* – представља производни систем или окружење у коме постоји само једна машина. У овом случају, ова ознака означава проблем распоређивања активности или производа на једној машини. Реалне ситуације су много сложеније, али је проблем распореда на једној машини њихов саставни део. Проблем распореда на  $m$  машина се може посматрати и као  $m$  проблема распореда на једној машини (такозвани *m Single Machines*).

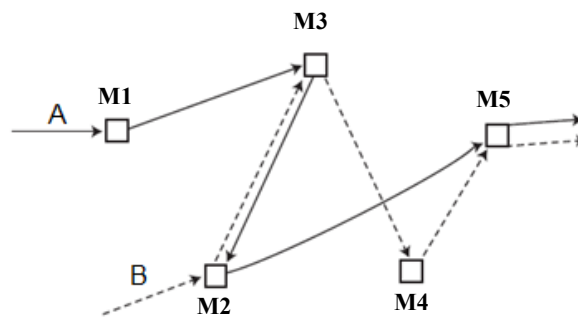
( $Pm$ ) енгл. *Parallel Machines* – представља производни систем или окружење са  $m$  идентичних машина у паралелној вези (све оне изводе идентичну операцију обраде). Сваки  $j$ -ти производ захтева обраду на само једној од  $m$  паралелних машина, и може се обрађивати на било којој. Уколико је индекс  $m$  изостављен, то значи да је број машина у паралелној вези произвољан. Међу машинама које су у паралелној вези, иако могу вршити исти посао, може постојати разлика и оне не морају бити потпуно идентичне. Могу постојати идентичне машине које обављају исти посао са једнаком продуктивношћу и машине које обављају исти посао са различитом продуктивношћу.

( $Qm$ ) енгл. *Uniform Machines* – представља ознаку за производни систем са  $m$  машина у паралелној вези, али свака машина има различиту брзину обраде. Ако

машина  $i$  има брзину обраде  $v_i$ , тада време које  $j$ -ти производ проведе у обради на машини  $i$  износи  $p_{ij} = \frac{p_j}{v_i}$ , уз претпоставку да се производ  $j$  цео обрађује на машини  $i$ .

( $Rm$ ) енгл. **Unrelated Machines** – је производни систем са  $m$  машина у паралелној вези. Машина  $i$  сваки производ обрађује са различитом брзином  $v_{ij}$ , која зависи од производа  $j$ . Време које  $j$ -ти производ проведе у обради на машини  $i$  износи  $p_{ij} = \frac{p_j}{v_{ij}}$ , уз претпоставку да се производ  $j$  цео обрађује на машини  $i$ .

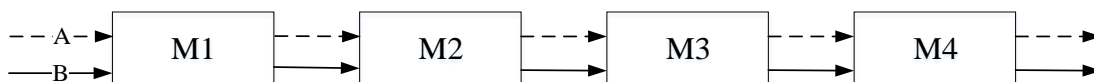
( $Jm$ ) енгл. **Job Shop** – проблем распореда  $n$  производа на  $m$  машина у коме сваки производ има своју унапред одређену руту коју следи, а која се састоји од низа операција на машинама. Редослед обраде (рута) производа по машинама није исти и не мора обухватати све машине из проблема распоређивања (Слика 10).



Слика 10: Различите путање производа у *Job Shop* проблему

Извор: модификовано *Caramia & Dell'Olmo* (2006, стр. 21)

( $Fm$ ) енгл. **Flow Shop** – проблем распореда  $n$  производа на  $m$  машина у коме сви производи имају идентичну руту коју следе, а која се састоји од унапред одређеног низа операција обраде на машинама (Слика 11). Ако производи треба да се обрађују у истом редоследу на свакој машини онда је реч о енгл. *Permutation Flow Shop* проблему. *Flow Shop* се може дефинисати и као проблем истог тока – предмети рада се крећу истим или сличним путањама (најчешће код великосеријске и масовне производње).



Слика 11: Пример путање у *Flow Shop* проблему

Извор: *Caramia & Dell'Olmo* (2006, стр. 19)

(*Om*) енгл. **Open Shop** - проблем распореда  $n$  производа на  $m$  машина у коме редослед операција обраде на машинама није дефинисан, само се зна да сваки производ мора проћи једанпут кроз сваку машину (уз дозволу да време обраде неког производа на једној машини буде 0) (Bai, Zhang, & Zhang, 2016). *Flow Shop* је специјални случај *Open Shop* проблема и представља једну пермутацију редоследа операција у *Open Shop* проблему.

(*FFc*) енгл. **Flexible Flow Shop** - је проблем *Flow Shop* у коме од  $m$  машина постоји  $c$  истородних група машина (машинских центара) намењених производима са истим типом обраде ( $c$  може представљати и фазе обраде у проблему распоређивања). Овај проблем је у литератури познат и под називом енгл. *Hybrid Flow Shop* проблем.

(*FJc*) енгл. **Flexible Job Shop** - Овај проблем настаје када се у појединим фазама кроз које се обрађују производи, уместо једне машине, налази  $c$  машинских центара са машинама исте врсте које могу да извршавају исту врсту обраду (машине у паралелној вези).

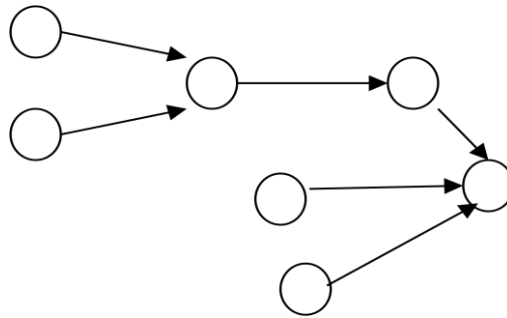
Карактеристике производа и ограничења у проблему распоређивања се одређују у  $\beta$  пољу, преко следећих скраћеница (Błażewicz et al., 2007; Pinedo, 2009, 2012):

(*pmtn* или *prmp*) – од енглеске речи *preemption*, уколико се ова ознака појави у пољу  $\beta$ , има значење да у неком временском тренутку, обрада једног производа може бити прекинута да би се неки други производ ставио на обраду који до тог временског тренутка није био расположив. Прекинути процес обраде производа може се наставити на истој или другој машини;

(*prec*) – енгл. *Precedence Constraints* – означава ограничења у проблему распоређивања, у смислу да одређен број производа (послова) мора бити завршен пре него други производи (послови) почну са обрадом. На месту (*prec*) могу стајати и следеће ознаке:

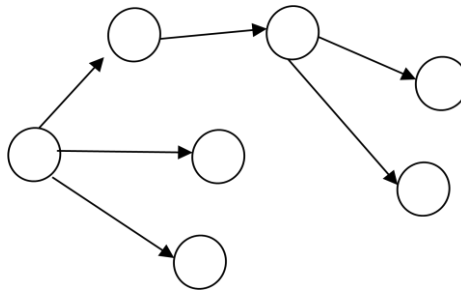
(*chains*) – ако сваки посао има највише једног претходника и највише једног следбеника (послове који су пре њега и долазе после њега);

(*intree*) – ако сваки посао има највише једног следбеника, онда је веза типа стабло које се сужава (Слика 12);



Слика 12: Графички модел, зависност типа „intree“

(*outtree*) – ако сваки посао има највише једног претходника, онда је веза типа стабла које се шири (Слика 13).



Слика 13: Графички модел, зависност типа „outtree“

( $s_j$ ) – време припреме које не зависи од редоследа обраде производа на машинама;

( $s_{jk}$ ) – време припреме које зависи од редоследа обраде производа на машинама. Уколико постоји ова ознака, онда време припреме за обраду  $k$ -тог производа зависи од  $j$ -тог производа који је био пре њега на обради. Уколико време припреме зависи и од  $i$ -тог типа машине на којој се производи обрађују, ознака је следећа -  $s_{ijk}$ ;

(*fmls*) – у овом случају производи су подељени у различите групе, фамилије (енгл. *Families*). Производи из исте фамилије могу имати различита времена обраде, али се могу обрађивати на машинама један иза другог без претходног утрошка времена на припрему. У супротном, обрада производа из различитих фамилија захтева припрему машина за обраду;

(*batch(b)*) - подразумева могућност машина да обрађују производе у партијама или серијама (енгл. *Batch*), тј. истовремену обраду количина производа већих од један. Свака машина има капацитет  $b$  који представља број производа (величину



партије) који може истовремено да се обрађује као величина једне партије. Свака партија производа је завршила обраду онда када се заврши обрада последњег производа из партије;

(*brkdwns*) – енгл. *Breakdowns* – током временског периода рада, машина не мора бити стално расположива за обраду, већ може имати паузе у којима не врши обраду ни једног производа;

(*prmu*) – енгл. *Permutation* – ово ограничење се јавља код проблема *Flow Shop* и подразумева да редослед обраде код сваке машине буде исти. За производе који чекају на обраду, да би се задржао исти поредак, овакав систем примењује правило ко први дође, први ће бити услужен (енгл. *First Come First Serve*);

(*block*) – енгл. *Blocking* – ово ограничење се јавља код *Flow Shop* проблема и представља ситуацију у којој ако наредна машина у низу за обраду неког производа није слободна, тај производ неће напустити претходну фазу већ ће чекати у њој. Ово је карактеристика производних система који немају могућност складиштења међу-операционих залиха, тј. недовршене производње;

(*nwt*) - енгл. *No wait* – односи се на проблем *Flow Shop* у коме није дозвољено да предмети рада чекају на обраду између две машине. Код овог ограничења, ако поједине фазе у процесу обраде на машинама нису слободне, сваки нови производ, због немогућности чекања на обраду, неће започети обраду на првој фази;

(*recrc*) – енгл. *Recirculation* – ова ознака се односи на проблем *Job Shop* у којем један производ може бити обрађиван на истој машини више пута (процес рецикулације). Појавом ове ознаке, настаје посебан проблем под називом енгл. *Cycle Shop*. То је тип *Job Shop* проблема, у коме сваки производ пролази кроз различиту руту обраде на машинама, али се поједине операције могу извршити на истим машинама поново;

(*r<sub>j</sub>*) – енгл. *Release Dates* – најраније време када *j*-ти производ може започети са обрадом. Временски тренутак када *j*-ти производ долази у систем и постаје расположив. Уколико је ова ознака присутна у пољу  $\beta$ , она означава проблем распоређивања у којем време када послови или производи постају расположиви

за обраду улазе у обзир. Овај параметар је карактеристичан за енгл. *Dynamic Job Shop Scheduling Problem*;

$(n_{br})$  – енгл. *Number of Jobs*, односи се на ограничен број производа који може бити у производном систему;

$(n_j)$  – енгл. *Number of Operations in Jobs* – ова ознака се једино примењује у *Job Shop* проблему, и означава да сваки производ има ограничен број операција обраде;

$(p_j)$  – енгл. *Processing Times*, ако је ова ознака присутна, то значи да је време обраде  $j$ -тог производа на једној машини ограничено. Уколико је  $p_j = p$  онда је време обраде сваког производа ограничено на исту величину  $p$ ;

$(d_j)$  - енгл. *Due Date*, представља временски тренутак или рок до кога је неопходно да се  $j$ -ти производ заврши са обрадом. Завршетак  $j$ -тог производа након овог временског тренутка је могућ, али уз појаву трошкова пробијања рокова. Уколико обрада  $j$ -тог производа није могућа након рока за завршетак, онда се то представља са ознаком  $\bar{d}_j$  (надвучено). Након овог временског тренутка производ мора бити завршен;

$(w_j)$  - енгл. *Weighting Coefficient*, представља тежински коефицијент, тј. приоритет и важност  $j$ -тог производа у односу на друге производе. Тежински коефицијент који одговара  $j$ -том производу и квантификује његову важност, приоритет или тежину у односу на друге производе, са аспекта неког критеријума (тежински критеријум као цена складиштења, чекања на обраду, или вредност која је уграђена у производ);

У поље  $\gamma$  се уносе информације о критеријумској функцији која се користи у процесу оптимизације проблема распоређивања, тј. критеријуми за мерење успешности распореда. Претходно, да би се критеријумске функције боље разумеле, за сваки  $j$ -ти производ (или  $j$ -ти посао) представљају се следеће ознаке:

$t_{ij}$  – временско трајање операције  $(i,j)$  које је дефинисано као време обраде  $j$ -тог производа на  $i$ -тој машини;

$C_j$  – означено је време завршетка обраде  $j$ -тог производа (на свим машинама),

дакле то је производни циклус под којим се сматра протекло време од почетка израде извесног производа, полупроизвода или серије производа па до његовог ускладиштења, односно уласка у неку вишу фазу производње (Vila & Leicher, 1972, стр. 32; Vila et al., 1982, стр. 31);

$L_j$  је кашњење  $j$ -тог производа (енгл. *Lateness*) у односу на временски тренутак када производ треба да буде завршен.  $L_j = C_j - d_j$  може узети позитивну вредност (ако завршетак  $j$ -тог производа касни) или негативну вредност (ако је  $j$ -ти производ завршен пре времена). Сâмо кашњење се означава са  $T_j = \max(L_j, 0)$  од (енгл. *Tardiness*) Кашњење  $j$ -тог производа се може означити са  $U_j = 1$ , ако је  $C_j > d_j$ ; у супротном,  $U_j = 0$ .

Разноврсност проблема распоређивања може водити и ка великом броју критеријумских функција. Аутори *T'kindt* и *Billaut* (2006, стр. 6), наводе две најчешће коришћених групе функција циља: а) критеријумске функције које се односе на време (време завршетка посла, време кашњења) и б) критеријумске функције које се односе на трошкове (трошкови коришћења машина, трошкови чекања операција или машина на обраду и процесирање).

Такође, пошто проблем распоређивања представља основни проблем у току процеса оперативног планирања, различити критеријуми се могу узети у обзир у пракси (*T'kindt & Billaut*, 2006): трошкови кашњења у испоруци, трошкови завршених производа на залихама и недовршене производње, производни трошкови који се односе на време припреме машина, на време чекања радника и машина на посао.

Неколико основних критеријумских функција у класичним моделима распоређивања, које се могу наћи на месту у пољу  $\gamma$ , имају за циљ минимизацију: (*Leung*, 2004; *Blażewicz et al.*, 2007; *Pinedo*, 2009, 2012; *Chaudhry & Khan*, 2016):

**Време завршетка обраде свих производа** (послова) енгл. *Makespan* ( $C_{max}$ ), или време када се последњи производ (посао) заврши са обрадом, односно временски тренутак када су завршени са обрадом сви производи  $C_{max} = \max_j(C_j)$ , где је  $C_j$  време када  $j$ -ти производ заврши. Ово је један од најчешћих критеријума у литератури, у моделима и методама решавања проблема распоређивања, упркос

томе што су проблеми распоређивања у пракси најчешће вишекритеријумске природе (Yenisey & Yagmahan, 2014);

**Укупно време завршетка обраде производа** (енгл. *Total Completion Time*):  $\sum_{j=1}^n C_j$  збир времена завршетка обраде свих производа. Овај критеријум може бити представљен као просечно време завршетка обраде свих производа  $\sum_{j=1}^n \frac{C_j}{n}$ . Такође критеријумска функција, укупно време завршетка обраде може бити помножен тежинским коефицијентима сваког производа да би се добила следећа функција  $\sum_{j=1}^n w_j C_j$  (енгл. *Total Weighted Completion Time*);

**Укупно пондерисано време завршетка обраде производа** (енгл. *The Total Weighted Completion Time*:  $\sum_{j=1}^n w_j C_j$ ) – збир времена завршетка обраде свих производа, помножених тежинским коефицијентима;

Поред укупног времена завршетка обраде свих производа постоји **укупно време трајања обраде свих производа** (енгл. *Total Flow Time*)  $\sum_{j=1}^n F_j = \sum_{j=1}^n (C_j - r_j)$ . Време трајања обраде се може дефинисати као разлика између времена почетка обраде ( $r_j$ ) и времена завршетка обраде ( $C_j$ ). Пораст вредности функције *Total Flow Time* је у директној вези са порастом трошкова залиха и порастом трошкова недовршене производње. Претходна функција може бити и са тежинским коефицијентима као: енгл. *Total Flow Time With Weights*:  $\sum_{j=1}^n w_j F_j$ . Тежински коефицијенти могу представљати важност и приоритет производа или цену трошкова обраде по једној временској јединици;

**Просечно време завршетка обраде**:  $\frac{\sum_{j=1}^n C_j}{n}$  се добија као количник укупног збира времена обраде свих производа и броја производа;

**Максимално или највеће кашњење** (енгл. *Maximum Tardiness*:  $T_{max}$ )<sup>8</sup> - максимално закашњење. Под закашњењем се подразумева позитивна разлика између времена стварног завршетка обраде одређеног производа и временског рока до кога се очекује његов завршетак, тј.  $T_j = (C_j - d_j)^+$ ; Највеће закашњење

---

<sup>8</sup> У литератури се користи и критеријум *Maximum Lateness* као  $L_{max} = C_j - d_j$ . *Lateness* ( $L$ ) и *Tardiness* ( $T$ ) су два врло слична показатеља кашњења, с тим што *lateness* може узети вредност која је негативна, и тиме означити да је неки производ завршен пре рока, док *tardiness* показује само кашњење неког производа, тј. узима позитивну вредност или нулу.

се представља као максимално од разматраних производа  
 $T_{max} = \max_j(T_1, \dots, T_n) = \max_j(C_j - d_j)$ ;

**Максимални ранији завршетак обраде производа** тј. најраније време завршетка (енгл. *Maximum Earliness*),  $E_j = (d_j - C_j)^+$ ,  $E_{max} = \max_j(E_1, \dots, E_n) = \max_j(d_j - C_j)$ ;

**Укупан ранији завршетак обраде производа** (енгл. *Total Earliness*),  $\sum_{j=1}^n E_j$  – где је  $E_j = (d_j - C_j)^+$ . У пракси није редак случај да уколико се неки производ заврши раније да због чекања на складишту или као делимично обрађен посао такође генерише извесне трошкове;

**Укупно кашњење свих производа** или послова у систему (енгл. *Total Tardiness*:  $\sum_{j=1}^n T_j$ ) – укупно закашњење, збир кашњења свих производа. Ова критеријумска функција може бити представљена и као просечно кашњење по распоређеном производу (енгл. *Average Tardiness*):  $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j$ . Такође, укупно кашњење као критеријумска функција може бити представљена и са тежинским коефицијентима за сваки производ (енгл. *Total Weighted Tardiness*:  $\sum_{j=1}^n w_j T_j$ ) – збир кашњења са завршетком обраде производа помножених тежинским коефицијентима чија је улога да квантификују важност сваког посла. Осим тога тежински коефицијенти могу означавати трошкове кашњења  $j$ -тог производа по јединици времена или квантификовати важност сваког производа;

**Укупан број производа или послова који касне** (енгл. *Total Number of Tardy Jobs*:  $\sum_{j=1}^n U_j$ ) – укупан број производа који касне са завршетком обраде. Уколико  $j$ -ти производ касни  $C_j > d_j$ , онда је  $U_j = 1$ , у супротном је  $U_j = 0$ . Функција која представља укупан број производа који касне може бити и са тежинским коефицијентима (енгл. *Weighted Number of Tardy Jobs*:  $\sum_{j=1}^n w_j U_j$ ) – укупан број производа који су у закашњењу помножених тежинским коефицијентима;

**Просечан број производа у систему производње** прорачунава се на основу формуле:  $\frac{\sum_{j=1}^n C_j}{\max C_j} = \frac{\text{Total flow time}}{\text{Makespan}}$  ;

**Просечна дужина задржавања** и чекања у редовима на обраду у производњи:  $(\sum_{j=1}^n (C_j - \sum_{i=1}^m t_{ij})) / n$  ;

**Укупна оптерећеност машина** (енгл. *Total Workload of Machines*) представља укупно време рада на свим машинама:  $W_i$ ;

**Критична оптерећеност машине** (енгл. *Critical Machine Workload*) представља највеће оптерећење међу свим машинама, тј. то је машина са максималним оптерећењем:  $W_m$ ;

**Просечна искоришћеност машина** (енгл. *Machine Utilisation*) – однос између расположивог и потребног капацитета машина:  $MU = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij}}{m \cdot C_{max}}$ ;

**Искоришћености појединачне машине** -  $u_k = \frac{\sum_{j=1}^n p_{kj}}{C_{max_k}}, \forall k = 1, \dots, m$ , где је:

$C_{max_k}$  - време завршетка обраде на  $k$ -тој машини. Може се прорачунати и на следећи начин  $C_{max_k} = \max_j \{s_{jk} + p_{jk}\}, \forall k = 1, \dots, m$ .

Аутори *T'kindt* и *Billaut* (2006) наводе још једну поделу на две групе најчешће коришћених функција циља. Прву групу чине „*max*“ функције које приказују максималну вредност у скупу распоређених производа (на пример;  $C_{max} = \max\{c_j\}$ ). Другу групу чине „*sum*“ функције које представљају збирне вредности у скупу распоређених производа: збир времена завршетка обраде производа (на пример  $\sum_{j=1}^n C_j$ ). Циљ успешног распоређивања је минимизација претходно дефинисаних *max* и *sum* функција.

**Табела 4:** *Max* и *Sum* функције

Извор: *T'kindt & Billaut* (2006, стр. 13)

<b>Max функције</b>	<b>Sum функције</b>
$C_{max}$	$\sum_{j=1}^n C_j; \sum_{j=1}^n w_j C_j$
$T_{max}$	$\sum_{j=1}^n T_j; \sum_{j=1}^n w_j T_j$
$E_{max}$	$\sum_{j=1}^n E_j; \sum_{j=1}^n w_j E_j$

У практичним проблемима распоређивања планери су најчешће суочени са више од једног циља који је потребно испунити (*Hoogeveen, 2005; Loukil, Teghem, & Tuytens, 2005; Sun et al., 2011; Pinedo, 2012, стр. 77; Allahverdi, 2016;*). Поред претходно дефинисаних основних критеријумских функција у Табели 4, постоје и

оне које су изведене као њихова комбинација. Најинтересантнија је група функција које комбинује критеријуме  $E_j$  и  $T_j$  у тзв. правовремени (енгл. *Just-in-Time* - *JIT*) приступ у распоређивању. *JIT* приступ ће касније бити представљен у делу: 4.7.3 Проблем правовременог распоређивања и терминирања.

Претходно наведено  $\alpha|\beta|\gamma$  обележаваће проблема распоређивања омогућава лакшу систематизацију проблема, као и метода за њихово решавање. На пример ако је неки проблем распоређивања означен са  $P3/prec/C_{max}$ , онда је реч о проблему распоређивања на три машине у паралелној вези, код којих послови који се извршавају на машинама имају међузависност (у смислу да обрада неког производа не може почети док се други производ не заврше), а за критеријум оптималног распореда дат је завршетак обраде последњег производа (уједно и свих производа).

Циљ успешног решавања проблема распоређивања и терминирања је минимизација претходно дефинисаних функција. Најчешће се дешава да користимо оптимизацију по једном критеријуму а затим вреднујемо генерисано решење са аспекта свих других функција. Или се може применити и вишекритеријумски приступ оптимизације (Ракићевић & Станојевић, 2016). Помоћ у избору значајних критеријума, међу мноштвом који се посматра, може послужити једноставна метода коефицијената корелације вредности критеријума на неколико генерисаних решења. Пар или група критеријума која би међу собом имала висок коефицијент корелације могла би бити редукована или замењена са мањим бројем критеријума.

#### 4.6.2. Комплексност проблема распоређивања и терминирања

Проблеми распоређивања из  $\alpha|\beta|\gamma$  нотације се, у погледу њихове комплексности тј. могућности решавања и налажења оптималног решења (распореда), деле на проблеме распоређивања који су решиви у полиномијалном времену<sup>9</sup> (класа  $P$ ) и они који су  $NP$ -тешки<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> Од енгл. *Polynomial Time*, за које постоје алгоритми који са порастом димензија проблема имају рачунску сложеност која је ограничена полиномијалном функцијом називају се полиномијални алгоритми.

<sup>10</sup> Од енгл. *Nondeterministic Polynomial Time*. На интернет страни *Complexity Results for Scheduling Problems* (<http://www.informatik.uni-osnabrueck.de/knust/class/>) дата је прецизна и детаљна

Неки проблеми распоређивања у класи  $P$  су:

- Проблеми распореда на једној машини:  $1/prec/L_{max}; 1|\sum U_j; 1|tree|\sum w_j U_j;$
- Проблеми распоређивања на паралелним машинама:  $P2/r_j, p_j=1, prec|\sum C_j;$   
 $P2/r_j, p_j=1, prec/L_{max};$
- Проблеми распоређивања из групе *Flow Shop* и *Job Shop*:  $F2/nwt/C_{max}; J2/|C_{max}; O2||C_{max}.$

Проблеми распоређивања у класи  $NP$ -тешки су они за које не постоје алгоритми који их решавају у разумном времену. Постоје само алгоритми чија рачунска сложеност<sup>11</sup>, са порастом димензија проблема, расте као експоненцијална функција. Неки проблеми распоређивања који спадају у ову класу су:

- Проблеми распореда на једној машини:  $1/s_{jk}/C_{max}; 1/r_j|\sum C_j; 1/r_j/L_{max};$
- Проблеми распоређивања на паралелним машинама:  $P2|prem, chains|\sum C_j; P2|chains/C_{max};$
- Проблеми распоређивања из групе *Flow Shop* и *Job Shop*:  $F2/r_j/C_{max}; F2/|\sum C_j; F2/|L_{max}; J2/rcrc/C_{max}; J3|p_{ij}=1, rcrc/C_{max}.$

#### 4.6.3. Методе решавања проблема распоређивања и терминирања

С обзиром да огромна већина проблема распоређивања спада у групу  $NP$ -тешких проблема, приступи и методе које се користе у решавању се могу поделити у следеће групе (Крчевинац и други, 2004, стр. 521):

- **Егзактне методе** – оне које за прихватљиве димензије проблема гарантују проналажење најбољег решења, тј. оптималног са аспекта једног критеријума или Парето оптималног решења са аспекта више критеријума. Карактерише их прецизно дефинисање математичког модела разматраног проблема, путем техника линеарног, нелинеарног, целобројног, динамичког и дисјунктног програмирања. У ову групу, за проблем распоређивања, спадају, метода потпуног претраживања као и метода гранања и ограничавања, технике Лагранжове релаксације (Pinedo, 2005, стр. 189, 559); Егзактне методе у случају слабе структурираности проблема, велике неодређености и

---

класификација проблема распоређивања са аспекта њихове комплексности и могућности решавања.

<sup>11</sup> Под рачунском сложености подразумевамо укупан број елементарних корака које треба реализовати да би алгоритам дошао до решења постављеног проблема.



неизвесности, нелинеарности али и великих димензија проблема, могу имати ограничене могућности решавања или немогућност проналажења оптималног решења у разумном времену.

- **Хеуристичке методе** – методе решавања засноване на неким здраво-разумским логичким правилима. Овакве методе не гарантују проналажење оптималног решења, али врло ефикасно могу пронаћи довољно добро решење, или низ решења, која задовољавају постављена ограничења. Хеуристике се најчешће деле на: конструктивне хеуристике које генеришу само једно решење и хеуристике локалне претраге које генеришу низ допустивих решења у свакој итерацији. Хеуристичке методе у општем случају, као и у проблемима распоређивања, најчешће се могу поделити на (Крчевинац и други, 2004, стр. 527): конструктивне хеуристике које генеришу само једно решење и хеуристике локалне претраге које генеришу низ допустивих решења у свакој итерацији.
- **Програмирање ограничења** (енгл. *Constraint Programming*) – техника или приступ решавању која је настала у научној области вештачке интелигенције. Задатак овог приступа је да пронађе решење проблема који је дефинисан системом ограничења (Вујошевић, 2012). У задацима програмирања ограничења, не мора се тражити решење које је најбоље према изабраном критеријуму. Разлог јесте чињеница да се у неким реалним проблемима веома тешко долази до решења које би задовољило сва ограничења (Вујошевић, 2012, стр. 67). Техника програмирање ограничења се може применити на проблем распоређивања у производњи (нпр. на основни *Job Shop* проблем) са функцијом циља која означава временски тренутак завршетка последњег производа који се обрађује ( $C_{max}$ ). Ограничење у моделу *Job Shop* би се односило на проналажење решења распореда чија је вредност  $C_{max}$  мања или једнака вредности рока када је потребно завршити процес обраде производа ( $\bar{d}$ ), тј.  $C_{max} \leq \bar{d}$  (Kanet, Ahire, & Gorman, 2004, стр. 8).
- **Методe симулације** путем извођења рачунарских експеримената разумеју понашање неког система или процеса (нпр. процеса распоређивања у производњи) и изврше анализу различитих стратегија функционисања система, опонашањем реалног процеса. Неке од метода којима се омогућава

лакше управљање процесом производње, па и оперативо планирање производње и такође могу бити погодне за симулацију управљања процесом производње су: *Kanban* (Kumar & Panneerselvam, 2007), и контрола оптерећења *WLC* (енгл. *Work Load Control*), као и његове варијанте *ConWIP* (енгл. *Constant Work-in-Process*), *POLCA* (енгл. *Paired Cell Overlapping Loop of Cards with Authorization*) (Stevenson et al., 2005; Thüerer, Land, Stevenson, & Fredendall, 2017). Контрола оптерећења (*WLC*) је систем планирања и контроле производње који је погодан за коришћење у компанијама које производе по поручбини (Stevenson et al., 2005; Томашевић, Стојановић, Симеуновић, & Словић, 2013). Посебно је релевантан за мала и средња предузећа која послују у радионичким условима и која располажу ограниченим финансијским ресурсима (Land & Gaalman, 2009; Thüerer et al., 2017; Томашевић et al., 2013). *WLC* посматра производну радионицу као ред чекања, где послови пристижу у „чекаоницу“ која се налази испред сваког радног центра. Кључна суштина овог система је одлучивање о термину пуштања посла у радионицу имајући у виду њену оптерећеност. Приликом избора посла који ће бити пуштен у радионицу, могу се користити и правила приоритета. Stevenson, Huang, Hendry и Soepenberг (2011) наводе да је ово веома ефективан алат за планирање производње у малим и средњим предузећима. Ова метода, која се најчешће реализује у виду симулације, је нашла своју примену и у решавању *Job Shop* проблема распоређивања (Thüerer, Huang, Stevenson, Silva, & Filho, 2012; Todeti & Jally, 2013, сmp. 27, 52–54; Thüerer et al., 2017).

Генерисана решења проблема распоређивања и терминирања, добијена путем наведених метода, могу имати различит начин записивања и представљања. На једном примеру *Job Shop* проблем биће представљени различити начини записивања полазног проблема и крајњег решења.

Најчешћи начини представљања решења проблема распореда су:

- Представљање путем низа операција обраде на машинама, енгл. *Sequence Base Representation*, овакво представљање највећу примену има у рачунарским наука;
- Представљање помоћу гантограма – енгл. *Gantt Chart Representation*, овакво

представљање највећу примену има за потребе управљања и доношења одлука;

- Представљање помоћу графа – енгл. *Graph-Based Representation*.

Пример 1: Посматрајмо референтни проблем распореда 3 производа ( $J_1, J_2, J_3$ ) на три машине ( $M_1, M_2, M_3$ ). Редослед обраде производа је дефинисан са редоследом машина, а времена обраде су дата у заградама:

$J_1: M_3 (70); M_1(40); M_2 (20)$

$J_2: M_2 (50); M_3(60); M_1 (30)$

$J_3: M_2 (40); M_1(20); M_3 (30)$

Може се представити и на следећи начин<sup>12</sup>:

$J_1: O_{31}; O_{11}; O_{21}$

$J_2: O_{22}; O_{32}; O_{12}$

$J_3: O_{23}; O_{13}; O_{33}$

Једно од допустивих решења проблема из Примера 1 се може представити на неколико следећих начина.

Представљање решења помоћу низа операција обраде:

$M_1: J_3, J_2, J_1$

$M_2: J_3, J_2, J_1$

$M_3: J_3, J_2, J_1$

или

$M_1: O_{13}; O_{12}; O_{11}$

$M_2: O_{23}, O_{22}; O_{21}$

$M_3: O_{33}, O_{32}, O_{31}$

или

$(O_{13}; O_{12}; O_{11}); (O_{23}, O_{22}; O_{21}); (O_{33}, O_{32}, O_{31})$

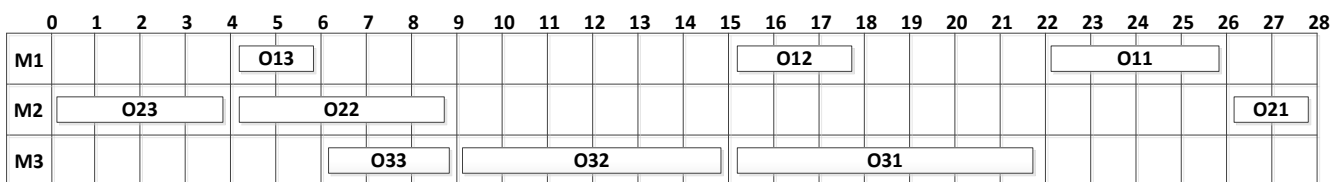
Представљање помоћу гантограма. Једна од практичних и често коришћених техника при планирању производње јесу Гантове карте или тзв. гантограми. Гантограми су дијаграми које је у праксу увео амерички инжењер Хенри Гант (енгл. *Henry Gantt*). То је дијаграм у координатном систему у којем је

---

<sup>12</sup> Ознака операције  $O_{ij}$  – представља операцију обраде  $j$ -тог производа на  $i$ -тој машини.  $O_{3,1}$  – представља операцију обраде првог производа на трећој машини.

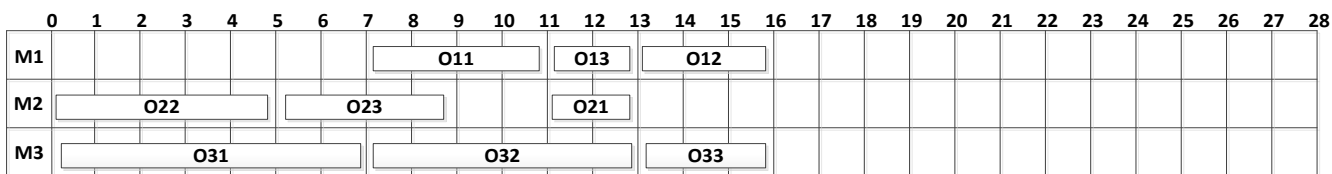
горизонтална оса време, а на вертикалној оси су наведени плански задаци у којима је потребно одредити: почетак, укупно трајање и завршетак, што представља главни проблем код одређивања рокова (*Vila & Leicher, 1972, стр. 35*). Такође, према ауторима (*Cox & Blackstone, 2005*): „Гантограм је најстарији и најпознатији тип контролне карте посебно дизајниран да графички прикаже однос између планираних перформанси и стварног учинка“.

На Слици 14 приказано је решење редоследа обраде производа, помоћу гантограма, са вредношћу критеријумске функције ( $C_{max} = 280$ ).



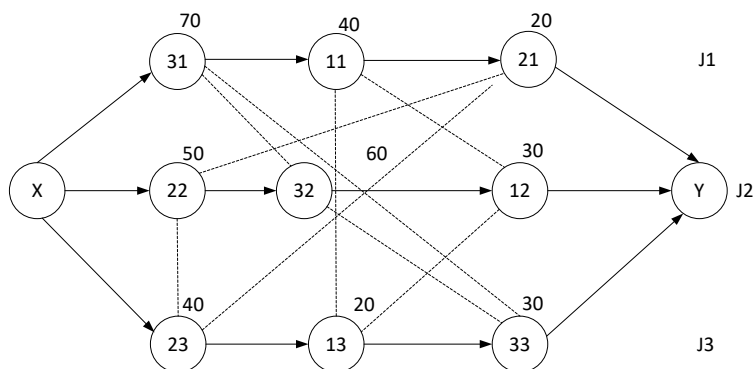
**Слика 14:** Решење проблема распореда 3 производа на 4 машине - гантограм

Пример бољег решења проблема редоследа обраде, са вредношћу критеријумске функције ( $C_{max}=160$ ) дат је на Слици 15.



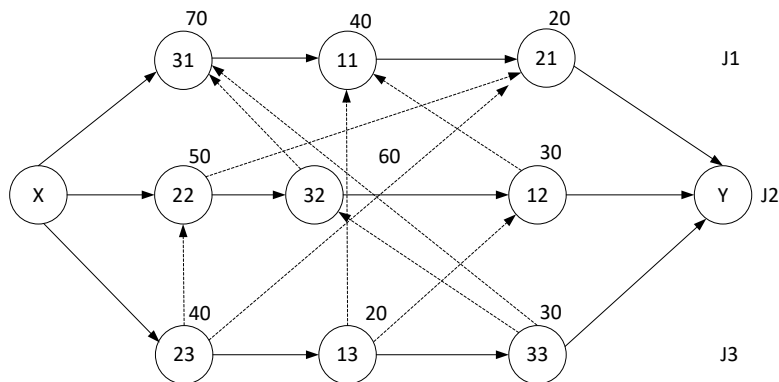
**Слика 15:** Боље решење за распоред 3 производа на 4 машине – гантограм

Представљање помоћу графа – Подразумева представљање преко дисјунктивног графа (Слика 16):



**Слика 16:** Дисјунктни граф са неусмереним дисјунктним луковима

Решење се добија претварањем свих дисјунктних лукова (Слика 16) у усмерене лукове при чему се добија усмерени граф (диграф) (Слика 17).



Слика 17: Решење представљено помоћу усмереног графа

У описивању добијеног решења (тј. распореда), важно је напоменути и следећу врло важну поделу допустивих решења на полу-активна, активна и без одлагања. Допустиво решење је полу-активно (енгл. *Semi-active*) – ако ни једна операција не може почети раније без промене редоследа обраде на машини (*Zapfel, Bogl, & Braune, 2010*). Допустиво решење (распоред) је активно (енгл. *Active*) ако нема операције која може почети раније променом редоследа операција на машини, без одлагања осталих операција. Скуп допустивих решења који је оптималан за регуларне функције циља садржи барем једно активно решење (распоред). За добијање оптималног распореда над регуларном функцијом циља довољно је да се претражи скуп активних решења.

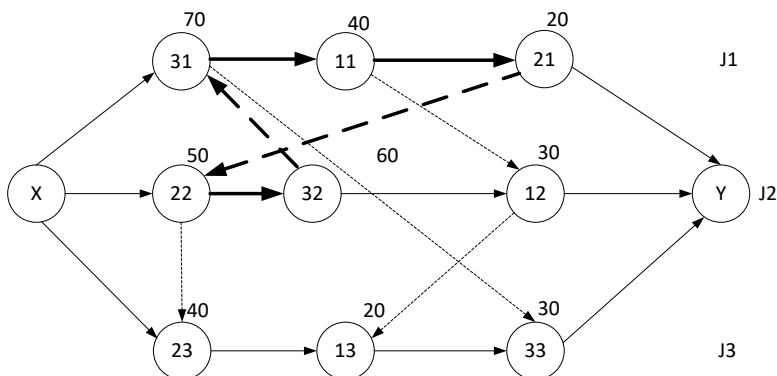


Слика 18: Повезаност скупова различитих класа распореда

Извор: *Zapfel et al., (2010, стр. 167)*

Допустиво решење се зове „без одлагања“ (енгл. *Non-delay*) ако се ни једна од машина не налази у режиму чекања а постоји најмање једна операција спремна за обраду. Поред допустивих решења тј. распореда постоје и они недопустиви распореди. Уколико за одређени распоред није могуће генерисати оријентисани

граф (диграф), такво решење је недопустиво.



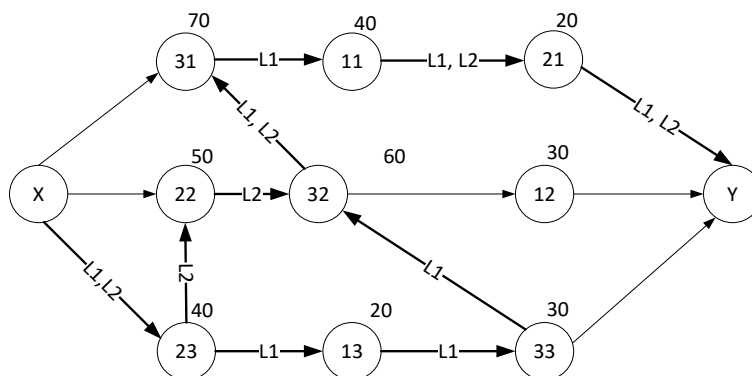
Слика 19: Недопустиви распоред са појавом циклирања

У решењу на Слици 19:

$M1: O_{11}; O_{12}; O_{13}$

$M2: O_{21}; O_{22}; O_{23}$

$M3: O_{32}; O_{31}; O_{33}$  долази до појаве циклирања:  $O_{22} - O_{32} - O_{31} - O_{11} - O_{21} - O_{22}$



Слика 20: Критични пут у диграфу

У решењима која се представљају помоћу усмерених диграфа (на пример на Слици 20), могу се уочити и критични путеви  $L_1 = (X, O_{23}, O_{13}, O_{33}, O_{32}, O_{31}, O_{11}, O_{21}, Y)$  и  $L_2 = (X, O_{23}, O_{22}, O_{32}, O_{31}, O_{11}, O_{21}, Y)$ . У представљању решења и његовом вредновању са аспекта критеријумске функције, посебну важност има дефинисање критичног пута. Критични пут је најдужи пут у диграфу. Операције које се налазе на најдужем путу зову се критичне операције. Критичне операције које се изводе на истој машини и налазе се у непрекидном низу зову се критични блокови. Критични пут се одређује помоћу алгоритама *Forward Scheduling* и *Backward Scheduling* (Zapfel et al., 2010, стр. 177). Особине операција на критичном путу: Временске резерве су нула; Најранији почетак и најкаснији

почетак ових операција је исти  $es_{ij} = ls_{ij}$ . Критични путеви могу помоћи у одређивању дужине трајања производног циклуса, али исто тако и генерисању суседних решења која су активна.

Детаљнији приказ метода решавања проблема у оперативном планирању производње и управљању ресурсима биће представљен у оквиру поглавља „5. Подршка у оперативном планирању производње МСП“, у потпоглављу „5.1. Подршка решавању проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима (МСП)“.

На основу описаних приступа у решавању у овом потпоглављу, може се потврдити хипотеза: **X(2.4.4):** *Постоје различити приступи за решавање проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње.*

#### **4.7. Специфичности оперативног планирања производње у МСП**

Према аутору *Villa u Taurino* (2018), за мала предузећа, један од најкритичнијих проблема за њихове менаџере, није у вези са технологијом производње већ са планирањем производње. Разлог томе је мноштво производних налога и послова које треба реализовати на ограничено расположивим производним ресурсима.

Исти аутори (*Villa & Taurino, 2018*) наводе да је за опстанак МСП веома важно да што пре задовоље потребе купаца узимајући у обзир важност купаца.

Да би се применила реорганизација производног плана по прихватању наруџбина купаца за било коју врсту производа које је МСП може да произведе, организација производње мора бити сачињена од разноврсних ресурса (производне машине и радници), од којих је сваки способан за извршавање скупа различитих операција које припадају радним секвенцама различитих производа (*Villa & Taurino, 2018*).

Тематика планирање производње и распоређивање (енгл. *Production Planning and Scheduling*) је веома добро истражена у контексту великих предузећа у производној делатности (*Heck & Vettiger, 2014*). Међутим, имплементација различитих методологија планирања производње и распоређивање у оквиру МСП је углавном неистражена. Због своје ограничености ресурса у поређењу са великим предузећима, МСП морају да се суоче са различитим изазовима (*Heck & Vettiger, 2014*). Дакле, многа МСП имају ограничене финансијске могућности и немају довољно знања да би се планирала производњу на адекватан начин (*Piller*

& Wölfel, 2014). Имплементација софистицираних решења за планирање производње може представљати проблем због недостатка новца за инвестирање у решења за планирање производње као и због недостатка знања за употребу система за планирање производње на адекватан начин (Piller & Wölfel, 2014). То значи да системи за планирање производње у МСП не би требало да буду претерано скупи, а поред тога требало би да буду веома разумљиви и лаки за коришћење (Piller & Wölfel, 2014). Чак иако постоје бројни ИТ програми који могу пружити подршку у планирању производње постоји неколико разлога који чине процес планирања захтевним (Piller & Wölfel, 2014):

- Тешкоће у имплементацији система за планирање производње на адекватан начин (недостатак новца, недостатак знања за коришћење таквог система на адекватан начин);
- МСП у сегменту занатства имају веома краткорочне радне налоге;
- Радни налози су често зависни од купаца. Купац дефинише шта жели и када то мора бити готово;
- Промене и прекидање распоређених налога и наруџбина од стране купаца је веома чест случај;
- Сходно томе, МСП је потребно да се изборе са случајно распоређеним радним налозима, па је предвиђање јако тешко пружити а и има мали значај због непрецизности (Piller & Wölfel, 2014);
- Међутим главни фокус МСП је потпуна искоришћеност капацитета свих запослених МСП (Piller & Wölfel, 2014).

Карактеристике малих и средњих предузећа и производње према поруџбини (енгл. *Make-to-Order* - *MTO*) представљају посебан изазов за имплементацију концепта за планирање и регулисање производње (Stevenson, 2009). *MTO* производе широку разноврсност производа у малим обимима (понекад јединствене производе), чинећи време реализације производње веома тешко за предвиђање и путање у производном погону веома променљиве. Карактеристике МСП и *MTO* ограничава број адекватних концепата и чини успешну имплементацију великим изазовом (Stevenson, 2009). То је још додатно наглашено разликом између симулације и праксе, као што је следеће:

- Претпоставке у моделу: претпоставке које се користе у симулацији не морају



одговарати стварности. За производњу јединствених производа каква је *MTO*, нереално је очекивати расположиве детаљне податке о временима обраде и припреме у сврху прорачуна рокова испоруке производа, када производ није раније реализован (*Stevenson, 2009*);

- Потцењена је људска димензија у производном систему – људски фактор у производним системима у реалности може утицати на широк опсег проблема;
- Непознавање „увезених“ концепата планирања производње у мала предузећа могу допринети лошим одлукама, па је неопходно извршити тренинг и информисање запослених у МСП;
- Организациона неспремност за имплементацију: добро слагање између карактеристика организације (организациона култура, спремност на промене, посвећеност новом пројекту) (*Stevenson, 2009*).

МСП су димензија да захтевају формализован приступ у планирању; ипак систем планирања производње је типично дизајниран за велика предузећа. Рад (*O'Reilly et al., 2015*) указује на потребу МСП у том смислу.

Примена математичких модела не мора бити адекватна потребама МСП, како тим предузећима недостаје стручност потребна за развој и примену таквих модела и штавише њихова организациона структура у великој мери варира од великих производних предузећа за које су такви модели иницијално развијени (*O'Reilly et al., 2015*).

*MTO* производни систем где је обим типично мали и где постоји велика разноликост производа, аутор (*Slomp et al., 2009*) означава као *Job Shop*. Према *Todeti* и *Jally* (2013, стр. 15), *Job Shop* скоро увек има карактеристике *MTO* производње. Процес планирања и распоређивања у производњи *MTO* и *Job Shop* може бити веома комплексан и сложен. Поред тога *MTO* и *Job Shop* производњу карактерише високо варијабилна тражња, мале количине, велика прилагођеност потребама купаца, спор проток материјала, дуго почетно, иницијално време планирања, огромно поновно планирање. То за резултат има дуго планирана времена реализације производње, а онда и рокова испоруке. Међутим, овај тип производње може се сматрати најефективнијим у погледу достизања високог задовољства крајњих купаца (*Todeti & Jally, 2013, стр. 47*).

Специфичности планирања производње између МСП и великих предузећа су сагледана у студији (*Augustine et al.*, 2013) која указује да постоји недостатак технологије, ресурса, и свесност и сазнања о најновијим управљачким методама у МСП. То је узроковало низак ниво употребе метода за планирање производње.

Мноштво доступне литературе о планирању и регулисању производње су фокусирани на развој све више и више софистицираних метода решавања проблема кроз симулацију и моделирање. Далеко мањи број истраживања је са терена, тј. из праксе и разматра унапређивање развоја концепта планирања и регулисања производње кроз имплементацију, посебно концепта значајних за мала и средња предузећа и произвођаче производа по мери потрошача, као што су *MTO* предузећа (*Stevenson*, 2009).

У делу 3.1. дисертације наводе се карактеристике производних малих и средњих предузећа које се и најчешће означавају у групи *MTO*. *MTO* се односи на производњу за коју процес производње не почиње док се не потврде поруџбине купаца (*Stevenson et al.*, 2005). Према истом аутору, МСП су доминантна у групи *MTO* (*Stevenson et al.*, 2005). *Muda* и *Hendry* (2003) даље наводе да је *Job Shop* организација производње адекватана за многа *MTO* предузећа.

У процесу планирања МСП и *MTO* предузећа морају да савладају многе неизвесности које су проузроковане поруџбинама купаца (спецификација производа, рокови испоруке), па захтевају адекватан и добро прилагођен систем планирања и регулисања производње (*Land & Gaalman*, 2009). *Land* и *Gaalman* (2009) су навели два уобичајена проблема у МСП: 1) неадекватан преглед планирања одлука у продаји, и (2) неконтролисана кашњења у инжењерингу који је покренут (и вођен) преко налога као и у процесима планирања и набавке. Научна истраживања обезбеђују само ограничене емпиријске доказе о специфичности захтева МСП за планирање производње или о подобности постојећих концепата планирања производње у *MTO* МСП (*Land & Gaalman*, 2009).

Мале производне радионице које производе према наруџбини и имају високо променљиву тражњу, представљају јединице које се састоје од неколико типова машина, и које производе велики варијетет делова и производа у малим обимима

(количинама) серијама, као и променљивим (несталним) временима обраде. У њима сваки део има своју путању кроз производну радионицу (*Slomp et al.*, 2009). Дакле, *Job shop* је проблем распоређивања и терминирања у процесно организованом производњи, у малој производној радионици или производном погону, који израђује производе у малом обиму.

Поред претходно побројаних карактеристика, многа *MTO/Job Shop* производња може се карактерисати као дво-ресурсно ограничени систем (енгл. *Dual Resource Constrained - DRC*). *DRC* производни систем је систем где су радници и машине ограничавајући фактор за проток и редослед радних налога (*Slomp et al.*, 2009).

У овом делу се даље описује проблем распоређивања и терминирања у производњи малог обима, тј. производњи МСП, који је познат под називом *Job Shop*. Представља се и математички модел проблема распоређивања са адекватним параметрима. Због своје важности у процесу оперативног планирања, посебно се наглашава правовремено планирање и распоређивање у производњи.

#### **4.7.1. Опис проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима**

Проблем распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње малог обима, где је већина производа са јединственим редоследом обраде, у странијој литератури је познат под енглеским називом *Job Shop* проблем.

*Job Shop* је проблем распоређивања и терминирања у процесно-организованој производњи, у коме се машина и опрема сличних функција групишу заједно. Тај проблем је карактеристичан за производну радионицу или производни погон и фабрике које производе велики број различитих производа малог обима производње (тзв. производи према поруџбини), који захтевају обраду на различитим машинама. Према *Todeti u Jally* (2013, стр. 5) *Job Shop* је један од четири основна типа производних система (непрекидна производња, масовна производња, серијска производња и појединачна производња тј. *Job Shop*) који ствара производе високог нивоа прилагођености потребама купаца.

*Job Shop* проблем се може дефинисати као проблем променљивог тока дисконтинуалне, појединачне и малосеријске производње карактеристичне за

групни распоред, тј. производни погон или радионицу у којој су машине груписане према врсти обраде. Дакле, *Job Shop* проблем представља проблем одређивања распореда операција обраде<sup>13</sup>, неколико производа на задатом скупу неколико различитих машина. Редослед производње (путања) сваког производа на машинама унапред је дата (Омербеговић-Бијеловић, 1986, стр. 32–35). Сваки производ најчешће има јединствену унапред задату путању (редослед) и временске нормативе обраде на машинама у производном погону. *Job Shop* карактерише и веома варијабилна тражња са великом разноликошћу производа, малим обимима, спорим протоком материјала кроз производни процес и променљивим временима обраде и реализације поруџбина (*Slomp et al.*, 2009). Време, количина и прилагођеност жељи купаца представља главни факторе који се односе на варијабилност тражње и претходно наведене карактеристике (*Todeti & Jally*, 2013).

У услужним процесима, проблем *Job Shop* је проблем распореда задатих активности на извршиоце. У страној литератури у овом проблему уместо термина производа (енгл. *Product*) често се наводи термин посао (енгл. *Job*) као посао обраде производа тј. предмета рада. Дакле, *Job Shop* проблем представља проблем распореда производних или услужних операција на машине или извршиоце.

Задат је скуп послова  $J$  који треба реализовати на задатом скупу машина  $M$  у неком временском интервалу  $T$ . Сваки посао из  $J$  састоји се од низа познатих операција које морају бити изведене у задатом поретку. За сваку операцију неког посла задати су подскуп машина из  $M$  на којима ова операција може бити извршена као и време њене реализације на свакој од ових машина. При томе она треба да се изврши само на једној од ових машина. За сваки посао из  $J$  познат је и рок - временски тренутак до кога он треба да се комплетно заврши.

Формализовано би се ознакама проблем *Job Shop* ( $Jm$ ) могао представити на следећи начин: Проблем распореда  $n$  производа на  $m$  машини у коме сваки производ има своју унапред одређену руту коју следи, а која се састоји од низа операција на машинама. Редослед обраде производа по машинама није исти и не мора обухватати све машине из проблема распоређивања. Суштина решења

---

<sup>13</sup> Под обрадом и процесуирањем производа подразумева се и посао монтаже делова, подскопова и склопова и посао производње полупроизвода и финалног производа.

проблема је, да се у оквиру расположивог капацитета машина, дефинише редослед производа на свакој машини, и временски интервал за распоређивање имајући у виду да сваки производ захтева различито временско ангажовање.

Према магазину (*Inc. Magazine*, 2016) *Job Shop* је представљен као тип производног процеса у коме се производе мале серије разноврсних производа по мери потрошача. У производном току *Job Shop* процеса већина производа захтева јединствену припрему и редослед корака у процесу обраде. Запослени који раде у *Job Shop* су типично веома обучени занатски радници који могу да раде на неколико различитих типова машина. Осим тога у *Job Shop*-у матрица са подацима о временима обраде и редоследу обраде производа представља главни предмет у разматрању како и када распоредити производ на обраду. Такође, *Job Shop* пружа највећу флексибилност производним предузетницима – у прављењу различитих производа како би задовољили потребе купаца, са адекватним квалитетом производа и услужним стандардима (*Inc. Magazine*, 2016). Због тога, *Job Shop* представља почетни модел организације производног процеса тј. прву и основну организациону форму процеса производње новооснованог производног предузећа (предузетничког подухвата у производњи). Како захтеви купаца почну да се понављају за истим пословима и производима (производи се стандардизују) и порасте обим потражње, *Job Shop* организација, може груписати машине у радне ћелије ради производње серије сличних производа или у серијску производњу која је организована преко производних линија, прилагођени стандардним производима. Машине и опрема се тада организују по предметном распореду, тј. према јасним корацима у производњи или монтажи производа.

У току обраде производа у *Job Shop*-у, уместо неке машине може постојати цео машински центар састављен од неколико машина истог типа, од којих било која може да се користи за обраду производа. У том случају реч је о флексибилном *Job Shop* проблему у иностраној литератури познат као енгл. *Flexible Job Shop*.

Предности и недостаци *Job Shop* облика производње су дати у Табели 5. Иако постоје бројне предности и недостаци *Job Shop* производње, то је веома признат приступ организације у делатности производње компоненти, која снабдева производима предузећа монтажере или фабриканте који даље испоручују

производе до veleпродаваца, трговина и крајњих корисника. Једна од великих предности *Job Shop*-а је висока флексибилност у коришћењу машина и радне снаге, јер квар једне машине може бити превазиђен додељивањем посла машини која изводи сличне операције обраде (Todeti & Jally, 2013, стр. 16). Састоји се углавном од флексибилних машина и опреме опште намене у сврху задовољења широког опсега захтева купаца. У оваквом систему производи пролазе кроз производни процес по систему вучења (енгл. *pull*) без потребе да се као финални одржавају на стању у складишту. Међутим, залихе које се могу јавити су залихе материјала и недовршених производа у процесу производње (Todeti & Jally, 2013, стр. 15).

Ако *MTO* и *Job Shop* треба да задовоље потребе купаца за прилагођеним производима, процес планирања и распоређивања производа заједно са регулисањем бројних операција у производном погону, може бити веома комплексан и утицати на повећање времена испоруке (Todeti & Jally, 2013).

**Табела 5:** Предности и недостаци *Job Shop* организације производње

Извор: Todeti & Jally (2013, стр. 16)

Предности	Недостаци
Висока флексибилност у коришћењу машина и радне снаге	Проблем планирања производње, распоређивања и терминирања је веома критичан
Велика разноврсност производа може бити произведена	Може захтевати велику количину потрошеног времена на поновно планирање
Висока искоришћеност потенцијала оператора (машина и радника).	Велика учесталост промена у припреми машина
Надзор производног процеса је веома јасан и ефектан	Велике варијације у току материјала чине руковање материјалом критичним
Бројне могућности да се искористи знање запослених о производима и њиховом развоју.	Висок ниво залиха недовршених производа и производње у току може захтевати велике количине простора.

#### 4.7.2. Математички модели проблема *Job Shop*

Проблем *Job Shop* се може математички формулисати преко модела целобројног и дисјунктног програмирања (Pinedo, 2005, стр. 82). Међутим, треба напоменути да се математички модели *Job Shop* проблема разликују у зависности од категорија које се узимају у обзир из  $\alpha|\beta|\gamma$  нотације. У овом делу, најпре ће бити описан модел дисјунктног програмирања, који користи дисјунктни граф. Овакав модел је

врло важан због једне хеуристике која врло успешно решава *Job Shop* проблеме. Дакле, проблем распореда  $n$  производа (послова) на  $m$  машина; где сваки посао се састоји од низа познатих операција које морају бити изведене на машинама у задатом поретку. За сваку операцију неког посла (обрада производа) дефинисана је машина на којој ова операција мора бити извршена као и време њене реализације. Такође, за сваки посао познат је и рок, временски тренутак до кога он треба комплетно да се заврши. У већини модела *Job Shop* проблема егзистирају следеће ознаке (Leung, 2004, стр. 6):

$n$  – укупан број производа (послова) које је неопходно распоредити;

$m$  – укупан број машина на којима је потребно извршити распоређивање;

$j$  – индекс који означава производ (посао),  $j = 1, \dots, n$ ;

$i$  – индекс који означава машину,  $i = 1, \dots, m$ ;

$(i, j)$  – представља уређени пар тј. операцију обраде  $j$ -тог производа на  $i$ -тој машини; може се означити и са  $O_{ij}$ ;

$p_{ij}$  – време обраде  $j$ -тог производа на  $i$ -тој машини (тј. временски норматив трајања операције  $(i, j)$ ). Свакој операцији  $O_{ij}$  се додељује ненегативна вредност  $p_{ij}$ . Уколико је време обраде представљено са  $p_j$ , то значи да се производ обрађује само на једној машини, или да време обраде не зависи од врсте машине и исто је за све машине;

$r_j$  – представља време када  $j$ -ти производ долази у систем и постаје расположив за обраду, тј. представља најранији временски тренутак када производ може да почне да се обрађује (карактеристичан за динамичан *Job Shop* проблем, енгл. *Dynamic Job Shop Scheduling problem*), када параметар  $r_j$  не постоји онда је реч о статичном *Job Shop* проблему (енгл. *Static Job Shop Scheduling Problem*);

$d_j$  – представља временски рок до кога се очекује завршетак израде производа  $j$ . Завршетак  $j$ -тог производа након овог временског тренутка је могућ, али уз појаву трошкова пробијања рокова. Уколико обрада  $j$ -тог производа није могућа након рока за завршетак, онда се то представља са ознаком  $\bar{d}_j$ , до овог временског тренутка производ мора бити завршен;

$w_j$  – тежински коефицијент који одговара  $j$ -том производу и квантификује његову важност, приоритет или тежину у односу на друге производе, са аспекта неког критеријума (тежински критеријум као цена складиштења, чекања на

обраду, или вредност која је уграђена у производ).

Претходно наведени подаци су статичке природе и представљају улазне параметре који се користе за моделе *Job Shop* проблема. Подаци динамичке природе, који нису унапред познати, и који зависе од добијеног распореда су:

$s_{ij}$  – временски тренутак када  $j$ -ти производ почиње да се обрађује на  $i$ -тој машини. Овај податак се чита из добијеног распореда. Уколико је индекс  $i$  изостављен, тада  $s_j$  означава када производ  $j$  почиње са првом обрадом у систему. Овим се може обележити и припремно време које је последица припремног рада да би неки посао почео да се обрађује. Уколико време припреме зависи не само од производа  $j$  који треба да почне да се обрађује на  $i$ -тој машини, већ и од производа  $k$  који је претходно обрађиван на овој машини, онда се означава са  $s_{ijk}$ ;

$c_{ij}$  – Време завршетка  $j$ -тог производа на  $i$ -тој машини. Уколико је индекс  $i$  изостављен, тада  $c_j$  означава време када је производ  $j$  у потпуности завршен.

#### Модел дисјунктног програмирања:

Овде ће бити разматрани *Job Shop* проблем типа  $Jm//C_{max}$ , и за његово моделирање биће коришћено дисјунктно програмирање (*Pinedo*, 2009 стр. 84-86; *Pinedo* 2012, стр. 183-186).

Ознаке у дисјунктном програмирању су:

$(i, j), j=1, \dots, n; i \in M^j \subset M: = \{1, \dots, m\}$ ;

$(i, j)$  - уређени пар који представља обраду  $j$ -тог производа на  $i$ -тој машини;

Може се означити и са  $O_{ij}$ ;

$M$  – скуп машина у производном систему;

$M^j$  – скуп машина на којима се производ  $j$  обрађује;

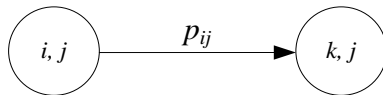
$p_{ij}$  - време обраде  $j$ -тог производа на  $i$ -тој машини (трајање операције  $i, j$ ).

Битна карактеристика модела дисјунктивног програмирања јесте израда дисјунктног графа.

**Дисјунктни граф** (Слика 23) дефинише се са  $G = (N, A \cup B)$ , где се чворовима на графу представљају операције  $(i, j) \in N, j=1, \dots, n, i \in M^j$ , а преко  $A$  и  $B$  се дефинишу лукови између чворова из  $N$ .

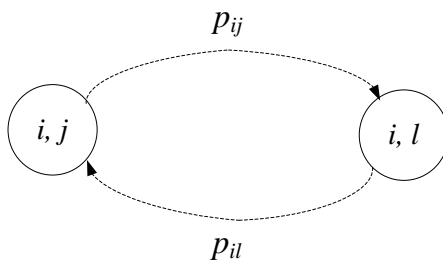


$A$  – представља конјунктне лукове (лукови између чворова означени пуном линијом на Слици 23, тј. лук на Слици 21), који означавају редослед (тј. међузависност) операција обраде једног производа.



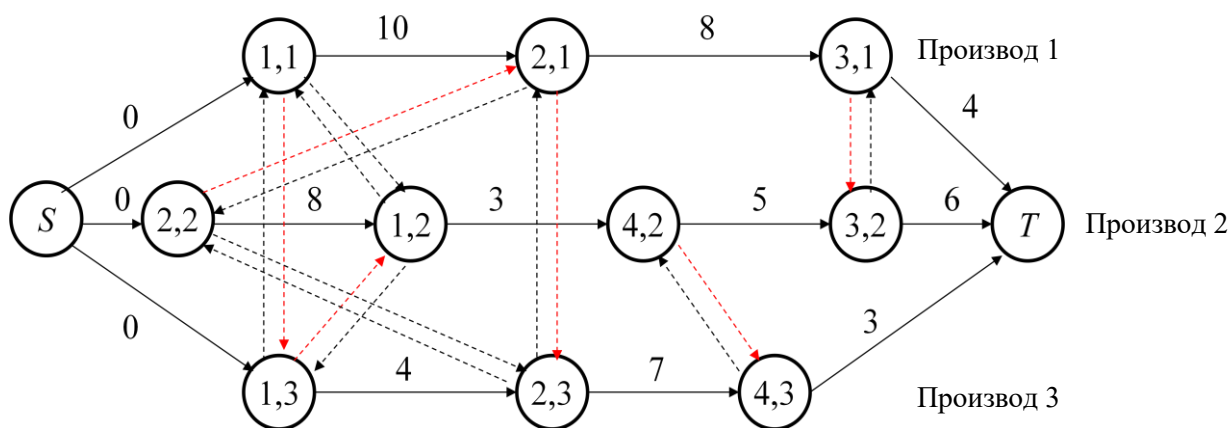
**Слика 21:** Конјунктни лукови

$B$  – представља дисјунктне лукове (лукови означени испрекиданом линијом на Слици 22, тј. лукови на дисјунктном графу на Слици 23), који означавају везу две операције обраде које припадају различитим производима, а треба да се производе на истој машини. Ови лукови између два чвора иду у оба смера јер означавају могућност два редоследа. За све чворове који припадају операцијама једне машине дисјунктни лукови формирају клику. Клика (енгл. *Clique*) је највећи подграф датог графа у којем су сви парови чворова међусобно повезани. Операције које се налазе на истој клици треба да се изврше на истој машини.



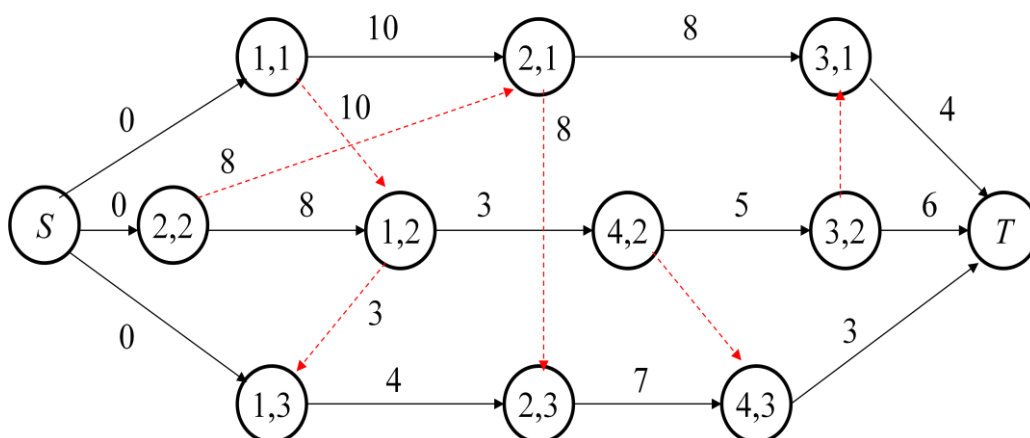
**Слика 22:** Дисјунктни лукови

У проблему који произилази из дисјунктног графа намеће се главно питање: Како избором дисјунктних лукова конструисати изводљив распоред и редослед производње на свакој машини? Неопходно је изабрати  $D$  – подскуп дисјунктних лукова (један од сваког пара ових лукова) тако да резултујући усмерени граф  $G(D)$  нема појаву циклирања између чворова. Дакле, граф  $G(D)$  садржи конјунктне лукове и подскуп дисјунктних лукова из  $D$ .  $G(D)$  ће онда представљати изводљиви распоред производа по машинама, у супротном појава циклирања одговара распореду који је неизводљив.



Слика 23: Пример дисјунктног графа за проблем  $JS$ , 3 производа на 4 машине

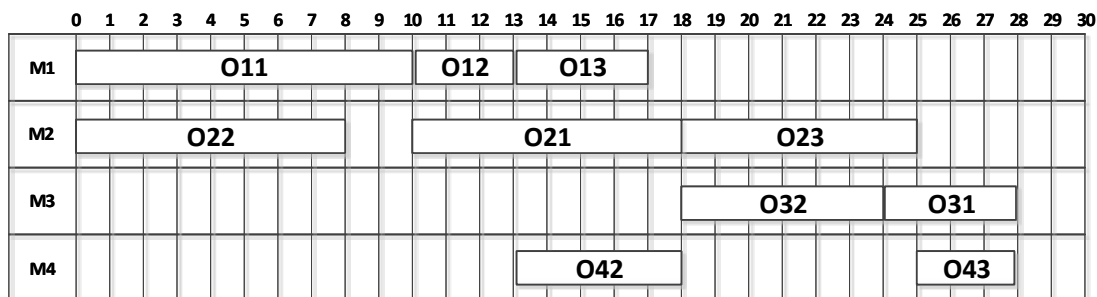
У дисјунктном графу (Слика 23) производни циклус, тј. временски тренутак у коме су обрађени сви производи, одређен је најдужим путем (критичним путем) кроз граф  $G(D)$  од извора (чвора  $S$ ) до ушћа (чвора  $T$ ).



Слика 24: Граф  $G'$  – резултат полазног проблема распоређивања

Циљ је смањити производни циклус, тј. пронаћи такав избор дисјунктних лукова који минимизују дужину најдужег пута кроз граф.

Граф  $G'$  који представља коначно решење проблема  $Job Shop$  је представљен на Слици 24. На основу графа  $G'$  може се формирати гантограм решења који је представљен на Слици 25.



Слика 25: Гантограм – решење полазног проблема *Job Shop*

Математички модел дисјунктног програмирања *Job Shop* проблема има следећи облик (Pinedo, 2009, стр. 88):

$$\min C_{max}$$

п.о.

$$y_{kj} - y_{ij} \geq p_{ij} \text{ за свако } ((i, j), (k, j)) \in A \quad (1)$$

$$C_{max} - y_{ij} \geq p_{ij} \text{ за свако } (i, j) \in N \quad (2)$$

$$y_{ij} - y_{il} \geq p_{il} \text{ или } y_{il} - y_{ij} \geq p_{ij} \text{ за свако } ((i, l), (i, j)) \in B \quad (3)$$

$$y_{ij} \geq 0 \text{ за свако } (i, j) \in N \quad (4)$$

У овој формулацији проблема  $y_{ij}$  је променљива која представља време када почиње операција  $(i, j)$ , односно када почиње да се обрађује  $j$ -ти производ на  $i$ -тој машини.  $N$  је скуп чворова дисјунктног графа  $G$ , а  $A \cup B$  је његових лукова. Ограничења (1) обезбеђују да операција  $(k, j)$  не може почети пре него што се операција  $(i, j)$  заврши.  $((i, j), (k, j)) \in A$  – конјунктни лукови у дисјунктном графу  $G$  који дефинише редослед операција производње  $j$ -тог производа; Ограничења (2) се односе на функцију  $C_{max}$ , која означава да време завршетка неке операције није веће од временског тренутка завршетка обраде свих производа. Она операција која добије вредност  $C_{max}$  је последња у низу и означава и време завршетка последњег производа, тј. време реализације производње и представља критеријумску функцију у овом моделу. Први и други скуп ограничења су ограничења која се односе на конјунктне лукове, па се називају ограничења конјункције. Ограничења (3) се називају дисјунктним ограничењима, и она означавају да на једној машини може постојати различит редослед између операција обраде различитих производа. Овакво ограничење није погодно за математичко моделирање па се може заменити увођењем додатне променљиве  $s_{ij}$

и следећих ограничења:

$$s_{jl} = \begin{cases} 1, \text{ ако се } j \text{ извршава пре } l \\ 0, \text{ у супротном} \end{cases}$$

$$M \cdot s_{jl} + y_{ij} \geq p_{il} + y_{il}$$

$$M \cdot (1 - s_{jl}) + y_{il} \geq p_{ij} + y_{ij}$$

$M$  – је неки велики број.

Коначан запис је представљен моделом 2:

$$\min C_{max}$$

п.о.

$$y_{kj} - y_{ij} \geq p_{ij} \text{ за свако } ((i, j), (k, j)) \in A \quad (1)$$

$$C_{max} - y_{ij} \geq p_{ij} \text{ за свако } (i, j) \in N \quad (2)$$

$$s_{jl} = \begin{cases} 1, \text{ ако се } j \text{ извршава пре } l \\ 0, \text{ у супротном} \end{cases} \quad (3)$$

$$M \cdot s_{jl} + y_{ij} \geq p_{il} + y_{il} \quad M \cdot (1 - s_{jl}) + y_{il} \geq p_{ij} + y_{ij} \quad (4)$$

$$y_{ij} \geq 0 \text{ за свако } (i, j) \in N \quad (5)$$

$M$  – је неки велики број.

Овакав модел може бити решен егзактним или хеуристичким методом. Егзактне методе које се базирају на дисјунктној формулацији проблема су метода гранања и ограничавања (енгл. *Branch and Bound*), метода Лагранжове релаксације и хеуристика премештања уских грла (енгл. *Shifting Bottleneck Heuristics*) која се заснива на формулацији дисјунктног програмирања проблема (*Blażewicz et al.*, 2007, стр. 352).

#### Модел целобројног програмирања:

Имајући у виду да проблем распоређивања *Job Shop* представља тежак комбинаторни проблем, за његово моделирање може се користити и техника целобројног програмирања (*Pinedo*, 2005, стр. 389).

Означимо са:

$n$  – укупан број производа које је потребно распоредити;

$m$  – укупан број машина на којима се распоређивање врши;

$p_{ij}$  – време трајања операције обраде  $j$  - тог производа на  $i$  - тој машини;

$((i, j), (h, j)) \in A$  – конјунктни лук у дисјунктном графу  $G$  који дефинише

редослед операција производње  $j$  - тог производа;

$x_{ijt}$  – променљива одлучивања која узима вредности 1 ако се операција  $(i, j)$  заврши у временском тренутку  $t$ , у супротном је 0.

$H$  - временски хоризонт планирања, тј. горња граница за функцију  $C_{max}$ , чија вредност треба да буде таква да не ограничава решавање проблема. За вредност  $H$  најбоље је узети суму свих времена обраде производа по свим машинама:

$$H = \sum_j^n \sum_{i \in M^j} p_{ij}$$

Време завршетка операције  $(i, j)$  може се представити као:

$$C_{ij} = \sum_{t=1}^H t x_{ijt}$$

У складу са тим,  $C_{max}$  је функција циља и променљива одлучивања, која представља временски тренутак у коме се завршава последња операција у низу, и коју је потребно минимизовати, да би се пронашло оптимално решење.

Сада се *Job Shop* проблем може моделовати као следећи **модел целобројног програмирања** (Pinedo, 2009, стр. 417):

$$\min C_{max}$$

п.о.

$$\sum_{t=1}^H t x_{ijt} - C_{max} \leq 0 \quad \text{за } j = 1, \dots, n; i \in M^j \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^H t x_{ijt} + p_{hj} - \sum_{t=1}^H t x_{hjt} \leq 0 \quad \text{за } ((i, j), (h, j)) \in A \quad (2)$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\} \quad \text{за } i \in M^j; j = 1, \dots, n; t = 1, \dots, H \quad (3)$$

Ограничења из овог модела имају следеће значење: Ограничења (1) се односе на функцију  $C_{max}$  која не сме да буде мања од времена завршетка последње операције. Ограничења (2) означавају да операција  $(h, j)$  може да почне тек када се операција  $(i, j)$  заврши, у случају да између операције  $(i, j)$  и  $(h, j)$  постоји међузависност. Последња група ограничења (3) се односи на управљачке променљиве које узимају вредност 0 или 1.

Проблеми целобројног програмирања се најчешће решавају помоћу методе гранања и ограничавања (Pinedo, 2005, стр. 400). Број могућих решења проблема *Job Shop* експоненцијално расте и у најгорем случају је  $(n!)^m$ .

Неопходно је напоменути да је проблем *Job Shop* са функцијом циља  $C_{max}$  је *NP*-тежак. То је доказано у радовима: (Garey, Johnson, & Sethi, 1976; Lenstra, Kan, & Brucker, 1977; Graham et al., 1979;). *Job Shop* проблем представља један од најтежих проблема у комбинаторној оптимизацији, а такође је и један од најчешћих проблема са којим се практичари сусрећу у производним окружењима.

Сходно експоненцијално растућем простору претраге решења (Табела 6) у комбинацији са различитим циљевима и ресурсима, проблем је *NP*-комплетан (Niazi, Sun, Zhang, & Ahmed, 2006). Традиционални приступи у решавању овог проблема се заснивају на правилима приоритета у распоређивању, динамичком програмирању, методи гранања и ограничавања и целобројном програмирању. Недостатак правила распоређивања је што не постоји идеално правило у распоређивању које ће бити ефективно за све услове производње. Такође, велики недостатак побројаних оптимизационих приступа је могућност добијања оптималних решења само за мале димензије проблема (Niazi et al., 2006).

**Табела 6:** Експоненцијална сложеност проблема *Job Shop*

Извор: Zapfel et al. (2010, стр. 169)

Величина проблема		Максималан број решења
Број производа	Број машина	
2	2	4
3	5	216
5	5	24883200000
10	10	$\approx 3,96 * 10^{65}$
100	50	$\approx 3,16 * 10^{7898}$

Треба напоменути и то да у теоријским моделима *Job Shop* могу постојати бројне претпоставке и ограничења које понекад не одговарају реалном понашању производно-услужних система (Zapfel et al., 2010, стр. 159):

- Енгл. *Exclusive Processing*: машина може да обради само један производ у датом тренутку и сваки производ у датом тренутку може бити обрађиван само на једној машини;

- Свака операција израде производа може да се изводи секвенцијално у задатом поретку, није дозвољено паралелно процесирање;
- Енгл. *Preemption*: прекидање једне операције у циљу процесирања неке друге која је хитнија није могуће, осим у случају квара машине (енгл. *Machine Breakdown*). Проблем *Job Shop* је у општем облику најчешће без прекидања у реализацији операција енгл. *Non-preemptive*;
- Сваки производ се може реализовати на свакој машини само једанпут;
- Свака машина је стално и непрекидно спремна за рад (за извршење операције обраде);
- Припремно време и време транспорта се занемарује или је припремно време и време унутрашњег транспорта између две операције укључено у времена обраде;
- Послови могу чекати на обраду у неограниченим међуоперационим складиштима;
- Нема грешака које би изазвале дораду делова;
- Искључује се могућност недостатка делова за распоређивање;
- Свака од операција се може обављати на само једном типу машина.

У таквим ситуацијама, моделирању проблема *Job Shop* се приступа са великом пажњом, а методе решавања често не подразумевају изградњу „тврдих“ и комплексних математичких модела, већ се заснивају на примени хеуристичких логичких правила. Свака од претходно наведених претпоставки указује и на могућност унапређења и проширења овог проблема.

У литератури је препознато и проширење проблема *Job Shop* на проблем у којима за поједине фазе обраде операција, постоје више од једне расположиве машине која може извршити посматрану операцију обраде. Овај проблем је познат под енглеским називом *Flexible Job Shop* (Pezzella, Morganti, & Ciaschetti, 2008). Тачније *Flexible Job Shop* проблем карактерише производња у којој је за извођење једне операције расположиво више од једне машине. За разлику од класичног проблема *Job Shop* у коме су операције фиксирани по машинама код проблема *Flexible Job Shop* постоји флексибилност јер распоред операција на машине није унапред одређен, тј. неке операције могу бити изведене на више од једне расположиве машине. У овом проблему свака машина има могућност извођења

више од једног типа операције па је у том погледу остварена флексибилност. Проблем распоређивања *Flexible Job Shop (FJS)* може се поделити у два потпроблема који се посматрају и као две фазе решавања (*Omerbegović-Bijelović & Čangalović, 2005; Chaudhry & Khan, 2016; Zhang, Gao, & Shi, 2011*):

- 1) **Проблем одређивања производне путање**, тј. проблем асигнације, додељивања сваке операције машини која је изабрана из скупа машина способних за обављање дате операције. У фази асигнације треба сваки пар (производ\*операција) доделити само једној од за то предвиђених машина, уз ограничење да расположиви капацитети машина не буде прекорачени у посматраном времену и да буде оптимизована нека погодна изабрана критеријумска функција. Додељивање у првој фази треба да буде у складу са ограничењима и критеријумима на наредној фази, на пример у складу са роковима завршетка послова (енгл. *Due Date*);
- 2) **Проблем одређивања редоследа обраде додељених операција**, по машинама у сврху добијања изводљивог распореда који ће минимизовати унапред дефинисану жељену функцију циља. Након додељивања добијеног у првој етапи, требало би за сваку машину наћи редослед извођења свих додељених операција, водећи рачуна о њиховој расположивости. Ова фаза има задатак да, на машинама изабраним у претходној фази, одреди редослед извођења свих додељених операција, уз циљ оптимизације критеријумске функције.

Математички формализовано, проблем *FJS* се може записати на следећи начин (*Pezzella et al., 2008*): Потребно је распоредити  $n$  производа  $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ , при чему сваки посао  $J_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) има унапред одређен редослед  $n_j$  операција ( $O_{1,j}, O_{2,j}, \dots, O_{n_j,j}$ ) које је потребно да се реализују у задатом редоследу на  $m$  машина  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ . Операције  $O_{i,j}$  могу бити изведене на одређеном подскупу компатибилних машини  $M_{i,j}$  из скупа расположивих машина  $M$  ( $M_{i,j} \subset M$ ). За проблем који је потпуно флексибилан важи да свака машина може извести само једну операцију у датом тренутку, а времена обраде сваке операције зависе од расположивих машина и представља се са  $p_{i,j,k}$  (време обраде операције  $O_{i,j}$  на машини  $M_k$ ). Дакле, проблем је распоредити сваку операцију на одговарајућу машину (проблем додељивања) а затим одредити редослед свих, машинама



додељених операција (проблем редоследа) у сврху минимизације функције циља.

		$M_1$	...	$M_k$	...	$M_m$
$J_1$	$O_{1,1}$	$p_{1,1,1}$	...	$p_{1,1,k}$	...	$p_{1,1,m}$
	...	...	...	...	...	...
	$O_{n1,1}$	$p_{n1,1,1}$	...	$p_{n1,1,k}$	...	$p_{n1,1,m}$
...	...	...	...	...	...	...
$J_j$	$O_{1,j}$	$p_{1,j,1}$	...	$p_{1,j,k}$	...	$p_{1,j,m}$
	...	...	...	...	...	...
	$O_{i,j}$	$p_{i,j,1}$	...	$p_{i,j,k}$	...	$p_{i,j,m}$
	...	...	...	...	...	...
	$O_{nj,j}$	$p_{nj,j,1}$	...	$p_{nj,j,k}$	...	$p_{nj,j,m}$
...	...	...	...	...	...	...
$J_N$	$O_{1,N}$	$p_{1,N,1}$	...	$p_{1,N,k}$	...	$p_{1,N,m}$
	...	...	...	...	...	...
	$O_{nN,N}$	$p_{nN,N,1}$	...	$p_{nN,N,k}$	...	$p_{nN,N,m}$

Слика 26: Матрица производ-машина проблем  $FJS$

Извор: *Касет* (2013, стр. 24)

Матрица производ-машина ( $J_j$ - $M_k$ ) са подацима о временима обраде  $p_{i,j,k}$  за проблем  $FJS$  дата је на Слици 26 (*Касет*, 2013). С обзиром на подељеност проблема  $FJS$  на две фазе, додела у првој фази може ограничити добијање оптималног редоследа у другој фази и коначног решења. Због тога је у случају решавања овог проблема потребно итеративно пролазити кроз ове две фазе са поновним враћањем. Сходно томе, мноштво хеуристика које се користе за решавање овог проблема, као што су: правила приоритета у распоређивању, локално претраживање, табу претраживање, симулирано каљење и генетски алгоритми, су подељени у две основне категорије (*Pezzella et al.*, 2008): Хијерархијски приступ и интегрални приступ. Хијерархијски приступ покушава да реши проблем  $FJS$  тако што га декомпонује у мање потпроблема. У овом случају то су два потпроблема, проблем додељивања ресурса и проблем одређивања редоследа. Интегрални приступ са друге стране је значајно тежи за решавање, али и постиже боље резултате у сврху добијања довољно добрих решења (распореда) блиских оптималним (*Pezzella et al.*, 2008).

За разлику од класичног проблема *Job Shop*, где се свака операција процесира на унапред одређеној машини, код проблема  $FJS$  свака операција може бити

обрађена на једној од неколико расположивих машина. То чини проблем *FJS* комплекснијим за решавање (*Chaudhry & Khan, 2016*) сходно разматрању и проблема додељивања машина и проблема распоређивања, а показано је и да је проблем *NP*-тежак (*Zhang et al., 2011*). Проблем *FJS* се још додатно може класификовати према степену своје флексибилности у погледу распоређивања операција на машине на (*Chaudhry & Khan, 2016; Kacem, 2013*):

- Тотални *FJS*, или потпуно флексибилни *JS* где свака операција може бити реализована на било којој од  $m$  расположивих машина, јер су све способне за реализацију те операције;
- Парцијални *FJS*, или делимично флексибилан, где неке операције могу бити реализован само на делу расположивих машина које су способне и расположиве за реализацију те операције (што много више одговара реалном случају у производној пракси).

Математички модел за класичан проблем *FJS* неће бити представљен у дисертацији јер се касније представља сложенији модел са дворесурсним ограничењима. За детаљније може се погледати (*Demir & İşleyen, 2013*). Пример проблема (*Pezzella et al., 2008*) *FJS* за три производа на четири машине, са подацима о временима реализације појединих операција је представљен и табеларно у Табели 7.

**Табела 7:** Пример проблема *Flexible Job Shop*

Извор: *Pezzella et al. (2008, стр. 3203)*

Производ	Операције	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
$J_1$	$O_{11}$	7	6	4	5
	$O_{21}$	4	8	5	6
	$O_{31}$	9	5	4	7
$J_2$	$O_{12}$	2	5	1	3
	$O_{22}$	4	6	8	4
$J_3$	$O_{13}$	9	7	2	2
	$O_{23}$	8	6	3	5
	$O_{33}$	3	5	8	3

Овде је потребно напоменути да не морају све машине бити способне и расположиве за извођење наведених операција као у Табели 7.

Поред машина, операције могу захтевати истовремено ангажовање неких

додатних типова/врста ресурса, као што су радници, специјални алати и сл. За сваки ресурс позната је његова расположивост по количини и у временским јединицама, а такође и за сваки посао или производ је позната потреба за ангажовањем расположивих ресурса. И класичан проблем *Job Shop* и проширени *Flexible Job Shop*, могу се још додатно проширити кроз посматрање расположивих радника који учествују у реализацији производних активности. У таквом проблему ограниченост чине и радници и машине па је овај проблем познат под називом дворесурсно ограничен флексибилни *Job shop* проблем (енгл. *Dual Resource Constrained Flexible Job Shop - DRCFJS*). Према *Slomp et al.* (2009), код *DRCFJS* проблема, радници и машине су ограничавајући фактор за проток и редослед радних налога. Према *Zheng и Wang* (2016) у проблему *DRCFJS* треба распоредити  $n$  производа  $J=\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$  на  $m$  машина  $M=\{M_1, M_2, \dots, M_m\}$  са  $w$  радника  $W=\{W_1, W_2, \dots, W_w\}$ . Сваки посао  $J_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) има унапред одређен редослед  $n_j$  ( $O_{1,j}, O_{2,j}, \dots, O_{n_j,j}$ ). Операције  $O_{i,j}$  могу бити изведене на одређеном подскупу машина  $M_{i,j}$  из скупа расположивих и способних  $M$  ( $M_{i,j} \subset M$ ). Иначе свака расположива машина може обрадити само једну операцију у датом тренутку. Такође радници који су део производног система могу имати различите вештине и знања за руковањем на машинама, и могу бити способни за рад на више машина, али могу радити на само једној машини у посматраном временском тренутку.

Нека је  $M(W_k)$  скуп машина на којим могу радити радници представљени са скупом  $W_k$ . За сваку машину из скупа  $M(W_k)$ ,  $W_k$  се назива скуп квалификованих радника. Време извођења сваке операције зависи од додељених машина и радника па се може представити као  $p_{i,j,k}$  што представља време обраде операције  $O_{i,j}$  на машини  $M_i$  са радником  $W_k$ . Овај проблем се састоји из три потпроблема:

- 1) Проблем додељивања ресурса (машина) операцијама обраде производа;
- 2) Проблем додељивања ресурса (радника) машинама (односно индиректно операцијама обраде производа);
- 3) Проблем одређивања редоследа операција обраде производа.

Решавање овог проблема се такође може поделити на две фазе: Фаза асигнације (додељивања) и фаза одређивања редоследа, уз констатацију да је проблем асигнације значајно сложенији због две врсте ограничених ресурса у односу на

обичан *FJS*. Циљ је одредити адекватно додељивање (радника и машина) свакој операцији, као и одређивање редоследа обраде сваке операције на машинама уз оптимизацију вредности жељене критеријумске функције. Постоје и додатне претпоставке које се односе на овај проблем:

- Све машине су расположиве у временском тренутку  $t=0$ ;
- Сви производи су расположиви за обраду у временском тренутку  $t=0$ ;
- Свака операција може бити реализована на само једној машини са само једним радником (из скупа расположивих машина и радника), поштујући редослед у односу на друге операције у технологији обраде производа;
- Производи су међусобно независни (међузависност између производа не постоји) тј. не постоје ограничења претхођења и слеђења – међу појединим операцијама обраде различитих производа;
- Право приоритета међу операцијама којима се производе различити производи не постоји;
- Времена унутрашњег транспорта и припреме су занемарена или су укључена у појединачна времена трајања операција;
- Радници се могу премештати са једне машине на другу, али не током реализације операција обраде послова/производа;
- Прекид у раду машине и прекид у раду радника се не разматра. Када операција почне са реализацијом, мора се завршити пре него што друга операција почне са реализацијом;
- Времена обраде су унапред позната.

Поред тога, додатна ограниченост у проблему се може јавити уколико је један ресурс значајно мање расположив од другог. Као на пример расположиво је  $n$  машина и мањи број радника  $w$  (тј.  $w < n$ ) (Slomp et al., 2009). Матрица са подацима за проблем *DRCFJS* је представљена на Слици 27.

		$M_1$			...	$M_m$		
		$W_1$	...	$W_w$	...	$W_1$	...	$W_w$
$J_1$	$O_{1,1}$	$P_{1,1,1,1}$	...	$P_{1,1,1,w}$	...	$P_{1,1,m,1}$	...	$P_{1,1,m,w}$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$O_{n1,1}$	$P_{nj,1,1,1}$	...	$P_{nj,1,1,w}$	...	$P_{nj,1,m,1}$	...	$P_{nj,1,m,w}$
$J_j$	$O_{1,j}$	$P_{1,j,1,1}$	...	$P_{1,j,1,w}$	...	$P_{1,j,m,1}$	...	$P_{1,j,m,w}$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$O_{i,j}$	$P_{i,j,1,1}$	...	$P_{i,j,1,w}$	...	$P_{i,j,m,1}$	...	$P_{i,j,m,w}$
	...	...	...	...	...	...	...	...
$J_N$	$O_{nN}$	$P_{nj,j,1,1}$	...	$P_{nj,j,1,w}$	...	$P_{nj,j,m,1}$	...	$P_{nj,j,m,w}$
	$O_{1,N}$	$P_{1,N,1,1}$	...	$P_{1,N,1,w}$	...	$P_{1,N,m,1}$	...	$P_{1,N,m,w}$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$O_{nN,N}$	$P_{nN,N,1,1}$	...	$P_{nN,N,1,w}$	...	$P_{nN,N,m,1}$	...	$P_{nN,N,m,w}$

Слика 27: Матрица производ-машина-радници проблем  $DRCFJS$

Представља се модел мешовитог целобројног програмирања проблема  $DRCFJS$  са следећим ознакама у моделу (Zheng & Wang, 2016):

$j$  – индекс који означава производ:  $j = 1, \dots, n$ ;

$n$  – укупан број производа који је неопходно распоредити;

$i$  – индекс који означава операције:  $i = 1, \dots, n_j$ ;

$n_j$  – број операција  $O_{ij}$  за производњу производа  $j$ ;

$u$  – индекс који означава машине:  $u = 1, \dots, m$ ;

$m$  – укупан број машина на које се распоређују операције;

$k$  – индекс који означава раднике:  $k = 1, \dots, w$ ;  $w$  – укупан број радника; (Слика 27);

$s_{ij}$  – временски тренутак почетка реализације операције обраде  $O_{ij}$ ;

$T_{uk}$  – временски тренутак када се ангажују машине  $M_u$  са радником  $W_k$ ;

$L$  – довољно велики број;

$C_{max} = \max\{C_{ij}\}$  – временски тренутак завршетка обраде свих производа;

$x_{ijuk}$  – бинарна променљива која представља способност машине  $u$  са радником  $k$  за  $O_{ij}$ “

$\zeta_{iju-i'j'u}$  – бинарна променљива која представља редослед операција  $O_{ij}$  и  $O_{i'j'}$  на машини  $M_u$ ;

$\xi_{uk-u'k}$  – бинарна променљива која представља редослед машина  $M_u$  и  $M_{u'}$  за раднике  $W_k$ ;

Математички модел има следећи облик:

(min)  $C_{\max}$

п.о.

$$s_{ij} + \sum_{u \in M_{ij}} \sum_{k \in W_{Mu}} p_{ijuk} \cdot x_{ijuk} \leq s_{i+1j} \quad \forall i=1, \dots, n_j-1, j=1, \dots, n \quad (1)$$

$$s_{ij} + \sum_{u \in M_{ij}} \sum_{k \in W_{Mu}} p_{ijuk} \cdot x_{ijuk} \leq C_{\max} \quad \forall i=1, \dots, n_j-1, j=1, \dots, n, \quad (2)$$

$$s_{i'j'} + (1 - \zeta_{iju-i'j'u}) \cdot L \geq s_{ij} + \sum_{k \in W_{Mu}} p_{ijuk} \cdot x_{ijuk} \quad \forall i=1, \dots, n_j, j=1, \dots, n \quad (3)$$

$$T_{u'k} + (1 - \xi_{uk-u'k}) \cdot L \geq T_{uk} \quad u, u' \in M, k \in (W(M_u) \cap W(M_{u'})) \quad (4)$$

$$T_{uk} + (1 - x_{ijuk}) \cdot L \leq s_{ij} \quad \forall i=1, \dots, n_j, j=1, \dots, n \quad u \in M, k \in W(M_u) \quad (5)$$

$$\sum_{u \in M_{ij}} \sum_{k \in W_{Mu}} x_{ijuk} = 1, \quad \forall i=1, \dots, n_j, j=1, \dots, n \quad (6)$$

$$x_{ijuk} = \begin{cases} 1, & \text{ако се } O_{ij} \text{ обрађује на } M_u \text{ од стране радника } W_k \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$\zeta_{iju-i'j'u} = \begin{cases} 1, & \text{ако се } O_{ij} \text{ обрађује непосредно пре } O_{i'j'} \text{ на машини } M_u \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$\xi_{uk-u'k} = \begin{cases} 1, & \text{ако се } M_u \text{ ангажује непосредно пре машине } M_{u'} \text{ од стране радника } W_k \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$$s_{ij} \geq 0 \quad \forall i=1, \dots, n_j, j=1, \dots, n$$

У представљеном математичком моделу ограничења имају следећа значења: (1) редослед операција обраде производа  $j$ ; (2) све операције морају бити завршене пре  $C_{\max}$ ; (3) редослед обраде на свакој машини може бити различит, а производи се увек морају обрађивати у поретку ( $j$ -ти пре  $j'$ -ог, и обратно) тако да никад истовремено на истој машини  $u$ ; (4) редослед ангажовања машина од стране сваког радника може бити различит, а обрада на машинама за радника  $k$  се увек реализује у поретку (машина  $u$  пре  $u'$ , и обратно) а никада истовремено не може бити ангажован исти радник на две машине; (5) ресурси машине и радници морају бити слободни да би операција  $O_{ij}$  почела; (6) само једна операција може бити додељена једној способној машини са једним квалификованим радником.

На основу детаљног описа проблема распоређивања и терминирања, заједно са представљањем математичког модела проблема *DRCFJS*, може се потврдити следећа хипотеза: **X(2.3.2):** *Мoguће је моделовати проблем распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње МСП.*

#### 4.7.3. Проблем правременог распоређивања и терминирања

Савремени трендови у управљању намећу концепте правремености у планирању, и штедљивом коришћењу производних ресурса. *Just-in-Time* потиче од концепта у управљању производњом који се појавио након Другог светског рада у Тојотиним фабрикама аутомобила. *Just-in-Time (JIT)* производни систем је развијен од стране *Taiichi Ohno* под јапанским називом „Тојота производни систем” (енгл. *Toyota Production System*). *JIT* производни систем има основни циљ да континуирано редукује и напослетку елиминише све облике расипања и губитака. *JIT* наглашава концепт нула расипања, што означава достизање циља од: нула дефекти, нула редови чекања, нула залихе, нула кварова. Овај концепт такође подразумева производњу адекватних производа и делова у адекватним (правим) количинама на правом месту и у право време (*Kumar & Panneerselvam, 2007; Dowlatshahi & Taham, 2009*). Велики број радова из литературе (*Kumar & Panneerselvam, 2007; Negrão, Godinho Filho, & Marodin, 2016*) бави се категоријама проблема који се односе на *JIT* производњу и потребу за њом. Потреба за правременом производњом произилази из две жеље (*T'kindt & Billaut, 2006*, стр. 114): једна је да се клијенту испоручи производ без кашњења, а друга је да готов производ не чека на складишту које може бити ограниченог капацитета и високих трошкова коришћења. На основу тога може се дати слободна дефиниција *JIT* производње, да је то компромис између производње која не касни а није много раније завршена (*T'kindt & Billaut, 2006*).

Суштина *JIT* приступа у планирању производње је да се у производним системима тежи планирању производних активности (распорјеђивању и терминирању, али и другим активностима) у којима ће производи бити готови или испоручени баш у тренутку када је потребно да буду коришћени за дистрибуцију крајњем кориснику или за даљу употребу у процесу стварања вредности (*T'kindt & Billaut, 2006*, стр. 140). Посматрајући циљ адекватног времена производње, концепт *JIT* садржи у себи и елементе адекватног распоређивања у производњи, тзв. *JIT* или правременог распоређивања (*T'kindt, 2011*). *JIT* приступ у распоређивању подразумева да се приликом распоређивања води рачуна о следећим критеријумима: ранији или превремени завршетак обраде, кашњење са завршетком обраде производа, укупно време завршетка обраде свих производа.

Дакле сврха *JIT* приступа у распоређивању, према *Zambrano Rey, Bekrar, Trentesaux, и Zhou (2015)* је да минимизира губитке: трошак складиштења за производе који су завршени пре рока, трошкови кашњења услед завршетка производа након договореног рока испоруке; а максимизује: лојалност купаца, тј. завршетак свих производа у року.

Поред стандардних дефинисаних основних критеријумских функција у делу „4.6.1 Категоризација проблема распоређивања и терминирања и специфичности означавања“, постоје и критеријуми који су изведени као њихова комбинација. Групу функција које комбинују критеријуме: ранији или превремени завршетак обраде ( $E_j$ ); кашњење са завршетком обраде производа ( $T_j$ ), укупно време завршетка обраде свих производа ( $C_j$ ), *T'kindt* и *Billaut (2006)* називају *Just-in-Time* критеријуми. У производним системима се тежи планирању производње у коме ће производи бити готови баш непосредно пре тренутка када је неопходно да буду искоришћени или продати. У распоређивању је дакле неопходно направити распоред који ће бити расположив *Just-in-Time*. Због тога је неопходно оптимизовати критеријум кашњења и ранијег завршетка. Према овом концепту послови или производи не би требали да се заврше пре рока за завршетак у циљу избегавања трошкова чекања на залихама. Дакле суштина оптимизације по *JIT* критеријумској функцији је компромис (енгл. *Trade-off*) између ранијег завршетка производа и пробијања рока завршетка (*T'kindt & Billaut, 2006*, стр. 114).

Основне *JIT* критеријумске функције воде ка великом броју критеријумских функција. Неки од *JIT* критеријума који се користе у решавању проблема распоређивања се даље представљају у Табели 8. Наведене критеријумске функције је потребно минимизовати у циљу добијања што бољег распореда. Поред приказаног у овом раду постоји још могућности за комбиновање критеријума ( $E_j$  и  $T_j$ ) које су детаљније представљене у (*T'kindt & Billaut, 2006; T'kindt, 2011*). Код критеријумских функција важно је нагласити да оне могу бити регуларне и нерегуларне. За произвољну функцију  $F(C_1, C_2, \dots, C_n)$  се каже да је регуларна, ако је нерастућа са тренутним вредностима  $C_j$ . Функције које се односе на укупни ранији завршетак и укупно кашњење и апсолутно одступање од рока за завршетак нису регуларне. На пример: Пораст  $\sum_{j=1}^n C_j$  може довести до смањења вредности функција трошкови ранијег завршетка  $\sum_{j=1}^n w'_j E_j$ .



**Табела 8:** Неки од *Just-in-Time* критеријума у оперативном планирању

производње

Извор: *T'kindt & Billaut* (2006, стр. 139)

Критеријум <sup>14</sup>	Опис критеријума
$\sum_{j=1}^n E_j + \sum_{j=1}^n T_j$	Укупно одступање од рока за завршетак обраде (енгл. <i>Total Tardiness and Total Earliness</i> ). Ова функција представља врсту <i>JIT</i> функције која мери колико време завршетка производа одступа од рока завршетка.
$\left( \sum_{j=1}^n E_j + \sum_{j=1}^n T_j \right) / n$	Просечно одступање од рока за завршетак.
$\sum_{j=1}^n (E_j)^2 + \sum_{j=1}^n (T_j)^2$	Квадратно одступање од рока за завршетак.
$\sum_{j=1}^n w'_j E_j + \sum_{j=1}^n w''_j T_j$	Ако се уведу и тежински коефицијенти, у виду трошкова кашњења или ранијег завршетка, одступање може имати облик укупног пондерисано одступања од рока завршетка. Тежински коефицијенти $w'$ и $w''$ могу представљати трошкове чекања и пенала за кашњење. Ова функција је позната у литератури под називом укупно пондерисано одступање од рока завршетка (енгл. <i>Total Weighted Tardiness</i> и <i>Total Weighted Earliness</i> ). Тежински коефицијенти могу представљати трошкове чекања на складишту или трошкове пробијања рока за завршетак. Ова функција је позната и под именом <i>Just-in-Time</i> трошкови ( <i>JITtr</i> ).
$\sum_{j=1}^n \frac{w'_j E_j}{n} + \sum_{j=1}^n \frac{w''_j T_j}{n}$	Просечно пондерисано одступање од рока завршетка.
$w' \sum_{j=1}^n (E_j)^2 + w'' \sum_{j=1}^n (T_j)^2$	Укупно пондерисано квадратно одступање.
$\sum_{j=1}^n w'_j (E_j)^2 + w''_j \sum_{j=1}^n (T_j)^2$	Укупно пондерисано квадратно одступање са тежинским коефицијентима који су различити за различите производе
$\frac{\sum_{j=1}^n (C_j - d_j)}{n}$	Одступања од рока завршетка производње, могу се мерити и као средње одступање (енгл. <i>Sum Mean Deviation</i> ).
$\frac{\sum_{j=1}^n (C_j - d_j)^2}{n}$	Средње квадратно одступање од рока завршетка (енгл. <i>Mean Square Deviation</i> )
$\sum_{j=1}^n  C_j - d_j $	Апсолутно одступање од рока завршетка (енгл. <i>Absolute Deviation</i> )
$\frac{\sum_{j=1}^n  C_j - d_j }{n}$	Средње апсолутно одступање од рока завршетка (енгл. <i>Mean Absolute Deviation</i> )
Тежински коефицијенти могу зависити од производа $w'_j$ ; $w''_j$	

<sup>14</sup> У саставу наведених сложених критеријума налазе се основни критеријуми: укупно кашњење у завршетку производа:  $\sum_{j=1}^n E_j = \sum_{j=1}^n \max(0, d_j - C_j)$  и укупни ранији завршетак:  $\sum_{j=1}^n T_j = \sum_{j=1}^n \max(0, C_j - d_j)$ .

## 5. ПОДРШКА ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРАЊУ ПРОИЗВОДЊЕ У МСП

У овом делу дисертације, на основу домена оперативног планирања производње, и специфичности МСП, дефинисана је подршка оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП. Најпре су описане методе које се користе у решавању проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима тј. у МСП. Затим је представљено истраживање развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у производњи. У оквиру тога дефинисан је појам ниво развијености, затим начин или мерни инструмент којим је извршено мерење нивоа развијености. Анализирани су резултати мерења нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима који указују на потребе за повећањем нивоа. Кроз адекватан преглед литературе, представљен је преглед могућности за унапређење оперативног планирања производње и управљања ресурсима. Преглед литературе је представљао основу за критички осврт на досадашње резултате истраживања у овој области. На основу сазнања досадашњих истраживања у предметној области дат је предлог унапређивања решавања проблема распоређивања и терминирања у производњи МСП, као и развој самог концепта подршке који треба то на адекватан начин да подржи.

Под подршком процесу оперативног планирања производње и управљања ресурсима може се подразумевати помоћ у решавању претходно дефинисаних планерских проблема. Подршка се најчешће реализује кроз примену адекватних метода и софтверских пакета. Да би објекат подршке био адекватно третиран, подршком је потребно испитати стање малих и средњих производних предузећа, што се може учинити мерењем нивоа развијености процеса планирања производње.

Традиционалне методе операционих истраживања које се могу наћи у систему за подршку одлучивању у области планирања и регулисања производње (енгл. *Production Planning and Control*) обухватају (*Olhager & Rapp, 1995; Olhager & Wikner, 2000, стр. 218*): математичко програмирање, моделе предвиђања, методе статистике и теорије вероватноће, анализе мрежног планирања (*CPM, PERT*),

различите хеуристике за различите процесе планирања производње, симулационе и визуелне моделе. Исти аутори (*Olhager & Wikner, 2000*, стр. 218) наводе и неке од новијих алата и техника за подршку процесу планирања производње: Петријеве мреже (енгл. *Petri Nets*), вештачке неуронске мреже (енгл. *Artificial Neural Networks*), фази (енгл. *Fuzzy*) логика, вештачка интелигенција и експертски системи.

Информационо-комуникационе технологије су развиле бројне и моћне алате за помоћ у планирању ресурса предузећа. Кренуло се од софтвера за евидентирање и чување података, преко обрачуна и плаћања, контроле и управљања залихама и планирања материјала (*MRP*), наставило се преко планирања производних ресурса (уз материјал, ту су и капацитети средстава за производњу – *MRP II*) и свих ресурса предузећа (*ERP*), да би се данас глобално интегрисало планирање свих ресурса предузећа – и то уз помоћ Интернета (*E-ERP, ERP II*) (Омербеговић-Бијеловић, 2004). Без сумње, *ERP* системи су од суштинске важности за управљање свим процесима у оквиру предузећа. Међутим овакви системи представљају скупо решење за мала и средња предузећа. *Antoniadis, Tsiakiris и Tsopogloy (2015)*, у њиховом истраживању заснованом на мишљењу испитаника, су идентификовали основне недостатке за примену и прихватање *ERP* система које чине високи трошкови: трошкови набавке система, трошкови оспособљавања и одржавања система, трошкови обуке запослених за рад у софтверу. Ограниченост финансијских средстава представља огромну препреку за набавку *ERP* система. Једна од могућих решења за МСП би била имплементација *ERP* решења отвореног кода (енгл. *Open Source ERP – OS ERP*). *Johansson и Sudzina (2008)* су представили иницијални преглед литературе о *ERP* решењима и њиховој примени у МСП. Исти аутори су такође идентификовали недостатак студија о томе зашто МСП бирају *OS ERP* решења уместо комерцијално лиценцираних *ERP* решења (*Johansson & Sudzina, 2008*). Иако *OS ERP* су иницијално бесплатни, они могу такође имати трошкове који се односе на учење, прилагођавање софтвера пословним процесима, као и трошкове одржавања. Због малих могућности за набавку интегрисаних софтверских решења која би пружила подршку целокупном процесу планирања, у МСП се најчешће задовољавају са решењима за планирање у појединим пословним процесима.

## 5.1. Подршка решавању проблема распоређивања и терминирања у МСП

У МСП, посебно малим предузећима, проблеми распоређивања у оперативном планирању производње обично се решавају на бази радног искуства планера, менаџера производње или власника предузећа (*Villa & Taurino, 2018*). Када се деси потреба за распоређивање новог производа, планери у МСП примењују неки од следећих приступа: или се засебно одлучује у ком тренутку ће се реализовати нови производни налог (произвести ново-наручени производ) или се претходно дефинисани распоред производње коригује према новим околностима, са циљем завршетка свих производа са минимумом протеклог времена (*Villa & Taurino, 2018*). Исти аутори наводе да је улога планера производње у МСП ограничена на праћење напретка у завршетку производних налога као и извештавање менаџмента. Онда се производни план саставља „ручно“ према искуству а рокови испоруке за купце су фиксни и дефинисани на основу просечних времена испоруке, без обзира на очекивано радно оптерећење и доступност ресурса (*Villa & Taurino, 2018*).

Послови тј. производни налози се лансирају у производњу на основу расположивости материјала; сваки посао „се гура“ да пролази кроз радне центре након завршетка претходне операције обраде. Уколико се посао суочи са ризиком да се не заврши до дефинисаног рока, његове наредне операције обраде се распоређују према вишем приоритету. Према аутору (*Villa & Taurino, 2018, стр. 2*), оваква пракса може водити повећању међуоперационих залиха и недовршене производње (енгл. *Work-in-Process*), иницијалним дужим роковима испоруке, као и прекорачењем договорених рокова са клијентима.

Предмет истраживања подршке планирању, у овом делу дисертације, односи се на процес оперативног планирања производње. Прецизније реч је о методама решавања проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње малог обима. У наставку овог дела дисертације представљен је одређен број хеуристичких метода које пружају подршку у решавању проблема распоређивања и терминирања а тиме и унапређивања самог процеса оперативног планирања производње.

Уопштено, хеуристичке методе користе се за решавање слабо структурираних проблема за које не постоје егзактни алгоритми (проблеми распоређивања послова на машине, распоређивање возила, распореди часова) или за решавање проблема за које постоје егзактни алгоритми који нису ефикасни за велике димензије проблема. Хеуристичке методе се могу користити и за тражење „задовољавајућег“ решења проблема у случају ограниченог времена, простора и новчаних средстава. Аутори (*Villa & Taurino, 2018, стр. 3*) наводе да примена хеуристичких правила и метода могу схватити и разумети менаџери МСП уз адекватну примену ИТ технологија које пружају подршку у дефинисању робусних правила која воде претрагу и избегавају дуга времена претраге. Генерално посматрано, хеуристичке методе којима се могу решавати проблеми распоређивања у производњи (*Job Shop, Flow Shop, Open Shop* и др.) могу се поделити у групе (Крчевинац и други, 2004, стр. 527):

- Конструктивне хеуристике – генеришу само једно допустиво решење проблема које, применом одговарајућих интелигентних правила, треба да буде блиско оптимуму. Овакве хеуристике су дефинисане преко једног или више правила распоређивања (посао са најмањим временским нормативом, посао са најкраћим роком испоруке, и сл.); Метода премештања уских грла (енгл. *Shifting Bottleneck*) и *GT* алгоритам листе (енгл. *Giffler and Thompson List Scheduling Algorithm*). Код конструктивних хеуристика, решење се формира у низу појединачних корака, и делови решења нису одмах мерљиви са аспекта критеријумске функције.
- Хеуристике које се заснивају на методама локалног претраживања – итеративно генеришу читав низ допустивих решења проблема, тежећи да она буду све боља. При томе се у свакој итерацији претражује „околина“ тренутног решења и у њој се бира, према неком локалном критеријуму, следеће решење у овом низу. Почетно допустиво решење низа може се узети из праксе, генерисати случајно, или формирати конструктивном хеуристиком. Неке од хеуристика локалног претраживања које се користе за решавање управљачких проблема су: симулирано каљење, табу претраживање, метода променљивих околина, генетски алгоритми, алгоритми који симулирају понашање колоније мрава и пчела.

Хеуристичке методе које су објашњене у овој докторској дисертацији су: једноставна правила приоритета у распоређивању, *GT* алгоритам листе, метода премештања уских грла, метода локалног претраживања, симулирано каљење, табу претраживање, генетски алгоритми и метода променљивих околина. Ове методе су представљене кроз специфичност проблема *Job Shop*.

Једна од првих метода и правила за решавање проблема распоређивања у производњи је *Johnson*-ово правило тј. алгоритам (енгл. *Johnson's algorithm*), представљен давне 1954. године (*Johnson, 1954*). Ова метода, дата у виду сложеног правила, намењена је решавању проблема распоређивања  $n$  производа на две машине, кад сви производи следе исти ток процеса производње, односно имају исти редослед операција али са различитим временским нормативима. Тачније, реч је о *Flow Shop* проблему  $F2//C_{max}$  за коју ова метода гарантује проналажење оптималног решења. Овај алгоритам распоређивања, представљен на Слици 28, минимизује време израде неколико производа на две машине у истом редоследу, али и укупно време које машине проведу ван производње чекајући на обраду производа.

**Корак 1:** Производе које је потребно распоредити груписати у скупове  $U$  и  $V$  :

$U = \{ j \mid p_{1j} < p_{2j} \}$  – група производа чије је време обраде на првој машини мање него на другој.

$V = \{ j \mid p_{1j} \geq p_{2j} \}$  – група производа чије је време обраде на првој машини веће или једнако времену обраде на другој машини.

**Корак 2:** Производе из скупа  $U$  поређати у неоппадајући редослед према временима њихове обраде на првој машини.

**Корак 3:** Производе из скупа  $V$  поређати у нерастући редослед према временима њихове обраде на другој машини.

**Корак 4:** Повезати сортиране вредности из скупова  $U$  и  $V$ , што даје коначан редослед обраде на обе машине.

**Слика 28:** *Johnson*-ов алгоритам

**Извор:** *Johnson (1954); Błażewicz et al. (2007, стр. 274)*

Посматрајући проблем коме је *Johnson*-ов алгоритам намењен ( $m = 2$ ), може се закључити да су практичне примене овог алгоритма врло ограничене. Међутим, логика *Johnson*-овог алгоритма може се применити и на веће проблеме ( $n \times m$ , где је  $m > 2$ ), са тим што се не може гарантовати добијање оптималног решења.

Модификован *Johnson*-ов алгоритам (*Jackson*, 1956) своди проблем димензија  $n \times m$  на проблем  $n \times 2$ , формирајући, од расположивих машина, два подскупа машина која представљају две виртуелне машине. Времена обраде  $n$  производа на две виртуелне машине се добијају једноставним сабирањем времена обраде производа на машинама које их чине. Након генерисања новог проблем ( $n \times m$ ,  $m = 2$ ), он се решава класичним *Johnson*-овим алгоритмом како би се добио оптимални редослед на две виртуелне машине. Након добијеног редоследа конструише се гантограм за реалан проблем на више машина. Овакво добијено решење нема гаранцију да је оптимално, али је алгоритам врло ефикасан.

### 5.1.1. Правила приоритета

Правила приоритета служе да се у току процеса производње одреди првенство послова (производа) у реду чекања пред одређеним радним местом или машином. Позната ситуација из праксе, када радник у производњи долази до пословође да му јави да је завршио посао и да тражи нови посао који је дефинисан радним налогом. Радни налози, радне листе и остала документација која се лансира у производњу, повремено се гомилају код пословође или диспечера производне радионице и он их по неком редоследу дају на реализацију. Ако приоритети нису одређени даје их по свом нахођењу или према искуству, онако како сматра да би било најприкладније. На основу представљене ситуације из праксе, може се закључити да у решавању проблема распоређивања у производњи и пружању услуга, највећу примену имају правила приоритета распоређивања – у страниј литератури позната под енглеским називом енгл. *Dispatching (Priority) Rules*. Применом ових правила, при процесу распоређивања, неком производу или његовој операцији обраде, даје се приоритет за распоред на слободној машини у односу на друге производе. Тачније то подразумева да се на слободну машину распореди производ спреман за обраду, који на најбољи начин задовољава усвојено правило распоређивања. Када производни ресурси постану расположиви за коришћење, правила приоритета треба да одреде који задатак треба да буде следећи. Употреба таквих правила је уобичајена у производним постројењима где мноштво одлука о распоређивању мора да се донесе у кратком временском року (*Herrmann*, 2006, стр. 1). Правила приоритета или диспечирања углавном не

добијају распореде који представљају оптимална решења, ипак она су једноставна за имплементацију, генеришу врло брзо распореде који су релативно добра решења, што их чини идеалним за континуирано планирање у великим системима (*Chen & Matis, 2013*), а такође и у комплексним, динамичним и непредвидивим производно-услужним окружењима (*Pinedo, 2005; Nguyen, Zhang, Johnston, & Tan, 2013a*).

За разлику од оптимизационих приступа, који представљају решење распоређивања на веома софистициран начин, у циљу употребе специјализованих техника за решавање проблема распоређивања, правила диспечирања (приоритета) обезбеђују начин извршавања задатака распоређивања који су разумљиви оператерима који врше распоређивање на нивоу производног погона (*Nguyen et al., 2013a*). Уобичајено, правила диспечирања, разматрају једноставне функције које одређују приоритете производа у реду чекања испред машина и одређују који производ треба обрадити следећи (*Nguyen et al., 2013a*). И други аутори (*Haupt, 1989; Lee, Kim, Kim, & Choi, 2003; Parthanadee & Buddhakulsomsiri, 2010; Joo, Choi, & Xirouchakis, 2013*) наводе да су у решавању *Job Shop* проблема у пракси, једноставна правила приоритета веома заступљена.

Једна од основних подела правила приоритета је (*Pinedo, 2005, стр. 82–83*):

- Статичка правила – она која не зависе од временског периода за који је потребно извршити распоређивање. Ова правила распоређивања искључиво зависе од параметара машина и производа (на пример правило које првенство распореда даје производу са најкраћим временом обраде енгл. *Shortest Processing Time*);
- Динамичка правила – зависе од временског тренутка у коме се правило примењује (на пример приоритет има посао са најкраћом временском резервом, енгл. *Minimum Slack*). Код ових правила, приоритет међу производима, које је потребно распоредити на машине, се мења током времена.

Свако од тих правила користи исти принцип: када год је машина слободна, од производа који чекају на обраду одабрати један производ према правилу приоритета (који на најбољи начин задовољава наведено правило) и распоредити



га. Примена метода које користе правила приоритета могу бити од велике користи у брзом добијању квалитетних решења неког проблема распоређивања. Постоје чак и такви проблеми распоређивања (нпр.  $I||\sum U_j$ ) код којих применом неког од правила, нпр. Мурово правило (енгл. *Moore's Rule*), може се сигурно доћи до оптималног решења (*Akker & Hoogeveen, 2004, стр. 2*).

Постоји велики број правила приоритета која се користе у проблемима распоређивања, а нека од њих су представљена систематизацијом у Табели 9. Ауторова систематизација правила је реализована на основу следећих референци литературе докторске дисертације (*Haupt, 1989; Lee, Kim, Kim, & Choi, 2003; Akker & Hoogeveen, 2004; Leung, 2004; Herrmann, 2006; Pinedo, 2009; Parthanadee & Buddhakulsomsiri, 2010; Pinedo 2012; Joo, Choi, & Xirouchakis, 2013; Blazewicz et al., 2016*). У Табели 9 представљени су: основне скраћенице и енглески називи у литератури, опис правила и њихове примене.

**Табела 9:** Правила приоритета која се користе у моделима распоређивања

Правило	Објашњење
<i>Service in Random Order (SIRO)</i>	Када год машина постане слободна, следећи производ се распоређује на случајан начин без икаквих приоритета. Неопходно је поштовати само ограничења у моделу проблема распоређивања.
<i>With Biggest Weight (BW)</i>	Прво распоредити најзначајнији производ (са највећим тежинским коефицијентом $max w_j$ ). Ово правило за резултат има смањење пондерисане суме вредности завршетка свих производа ( $min \sum_{j=1}^n w_j C_j$ ).
<i>Earliest Release Date (ERD)</i>	Прво распоредити производ који је најраније приспео на обраду, према податку: $min r_j$ који означава време пристизања на обраду. Производи се обрађују према редоследу у коме долазе на обраду у производни или услужни систем. Ово правило је исто као правило које се највише употребљава у услужним системима: приоритет на услугу има купац који је први ушао у услужни систем (енгл. <i>First Come First Served - FCFS</i> ). Применом овог правила, може се постићи смањење чекања производа на обраду на машинама, као и смањење кашњења производа ( $min L_{max}$ ).
<i>Earliest Due Date (EDD)</i>	Прво распоредити производ са најранијим роком завршетка ( $min d_j$ ). Ово правило је познато и под називом енгл. <i>Jackson's Rule</i> и гарантује оптимално решење за проблем минимизације кашњења у распореду на једној машини $I  L_{max}$ ( <i>Kellerer, 2004, стр. 2</i> ). Код осталих проблема распоређивања смањује кашњење завршетка производа ( $min L_{max}$ ).

Правило	Објашњење
<i>Minimum Slack (MS)</i>	Прво распоредити производ са најмањим временским резервама. Временска резерва неког $j$ -тог производа се израчунава преко формуле $\max(d_j - p_j - t, 0)$ ; Ово правило има сличан ефекат као правило енгл. <i>Earliest Due Date (EDD)</i> па смањује кашњење производа ( $\min L_{max}$ ) и има за циљ смањење временских резерви на машинама, као и смањење чекања производа на обраду.
<i>Shortest Task Time (STT)</i>	Прво распоредити операцију $j$ -тог производа са најмањим временом обраде ( $\min p_{ij}$ ) на посматраној $i$ -тој машини. Понекад се ово правило реализује исто као и правило енгл. <i>Shortest Processing Time</i> иако су то два различита правила.
<i>Longest Task Time (LTT)</i>	Прво распоредити операцију $j$ -тог производа са највећим временом обраде ( $\max p_{ij}$ ) на посматраној $i$ -тој машини.
<i>Longest Processing Time (LPT)</i>	Прво распоредити производ са највећим укупним временским нормативом (укупним временом обраде $\max p_j$ ). У овом правилу прво се распоређују временски најзахтевнији производи за обраду, па онда сви остали, према опадајућем низу њихових времена обраде. Међутим, ово правило је врло неповољно у односу на критеријум минимизације просечног броја послова у систему или на чекању. Са друге стране, овим правилом се, за обраду производа, повећава уравнотеженост ангажовања машина које су у паралелној вези.
<i>Shortest Processing Time (SPT)</i>	Правило које нераспоређеном производу са најмањим укупним временским нормативом обраде $\min(p_j) = \sum_{i=1}^m p_{ij}$ даје први приоритет при распоређивању. Ово правило је добро за проблем <i>Flowshop</i> , за критеријум минимизације просечног броја производа у систему и минимизације временског трајања целог процеса израде производа ( <i>Heizer &amp; Render, 2011, стр. 628</i> ), као и смањење међу-операционих залиха и искоришћеност капацитета ( <i>Canbolat &amp; Gundogar, 2004</i> ). Проблем код примене овог правила може се јавити за производе који имају веће временске нормативе обраде (производи који су више захтевни за обраду), који се увек остављају за касније, иако неки од таквих послова могу имати висок приоритет. Најбоље је ово правило употпунити тежинским коефицијентима, како би се добило правило <i>WSPT</i> (енгл. <i>Weighted Shortest Processing Time</i> ), где се на временско трајање сваког посла додаје и његов тежински коефицијент. Правило <i>SPT</i> за резултат има смањење суме вредности времена завршетка свих послова $\min \sum_{j=1}^n C_j$ . Ово правило даје оптимално решење за проблем минимизације укупног време завршетка обраде по свим производима у распореду на једној машини $I    \sum C_j$ .
<i>Weighted Shortest Processing Time (WSPT)</i>	Прво распоредити производ са највећим количником тежинског коефицијента и времена обраде $\max(w_j / p_j)$ . Ово правило даје оптимално решење за проблем $I    \sum w_j C_j$ тако што производе које је потребно распоредити, сортира у опадајући низ према количнику $w_j / p_j$ . Код проблема на више машина, ово правило за резултат има смањење пондерисане укупне суме времена завршетка свих послова $\min \sum_{j=1}^n w_j C_j$ .

Правило	Објашњење
<i>Shortest Remaining Processing Time (SRPT)</i>	Прво распоредити операцију $j$ -тог производа са најмањим преосталим временом обраде ( $\min \sum_{i=k}^m p_{i,j}$ ). Применом овог правила смањује се укупан збир времена завршетака свих производа $\min \sum_{j=1}^n C_j$ и остварује се смањење просечног броја производа у систему.
<i>Longest Remaining Processing Time (LRPT)</i>	Прво распоредити операцију $j$ -тог производа са највећим преосталим временом обраде ( $\max \sum_{i=k}^m p_{i,j}$ ).
<i>Shortest Setup Time (SST)</i>	Прво распоредити производ са најкраћим временом припреме ( $\min s_{jk}$ ). Примена овог правила смањује време за завршетак свих производа $\min C_{max} = \min \max(C_j)$ .
<i>Longest Task Successor (LTS)</i>	Прво распоредити операцију $j$ -тог производа са најдужим временом обраде на наредној машини ( $\max P_{k,j}$ ).
<i>Smallest Number of Remaining Tasks (SNRT)</i>	На $i$ -тој машини прво распоредити операцију $(i,j)$ $j$ -тог производа која има најмањи број преосталих операција.
<i>Largest Number of Remaining Tasks (LNRT)</i>	На $i$ -тој машини прво распоредити операцију $(i,j)$ , $j$ -тог производа који има највећи број преосталих операција.
<i>Critical Ratio (CR)</i>	<p>Прво распоредити операцију <math>j</math>-тог производа са најмањом вредношћу критичног рача <math>\min CR</math> (однос времена преосталог до истека рока за завршетак неког производа и времена преосталог за завршетак обраде тог производа). <math>CR</math> се добија као однос између времена преосталог до рока испоруке неког производа и времена преосталог до завршетка обраде тог производа.</p> $CR = \frac{d_j - t}{\sum_{i=k}^m p_{i,j}}$ <p>Применом овог правила добијамо компромис између правила <i>EDD</i> и <i>LPT</i>. Ово правило је посебно повољно за критеријум минимизације просечног кашњења (<i>Canbolat &amp; Gundogar, 2004</i>).          Производи чији је критични коефицијент: (<math>CR &lt; 1</math>), су они производи који касне у односу на план; (<math>CR = 1</math>) су они производи који ће се извршити на време; (<math>CR &gt; 1</math>) су они производи који се завршавају пре времена и имају временску резерву. Што је критични рачио нижи, то је производу потребно да раније буде распоређен на обраду.</p>
<i>Least flexible Job First (LFJ)</i>	Прво распоредити производ који је најмање флексибилан у погледу обраде на машинама. Ово правило се користи код више паралелних машина код којих производи не могу бити обрађивани на свим машинама. Када год је машина слободна, бира се онај производ који има најмању флексибилност, тј. могућност за обрађивање на другим машинама.
<i>Critical Path (CP)</i>	Прво распоредити операције производа које се налазе на критичном путу. То су оне операције у низу операција које имају највеће временске нормативе (налазе се на најдужем путу кроз граф $G(D)$ ), $p_j$ , $prec$ .
<i>Largest Number of Successors (LNS)</i>	Прво распоредити посао који има највећи број послова који зависи од његовог завршетка, $p_j$ , $prec$ .

Поред једноставних правила распоређивања која су представљена Табелом 9, у процесу распоређивања се користе и сложена правила попут: Очигледни трошкови кашњења (енгл. *Apparent Tardiness Cost – ATC*) и очигледни трошкови кашњења и припреме (енгл. *Apparent Tardiness Cost with Setups – ATCS*). Ова правила настају комбинацијом више једноставнијих правила распоређивања и користе се у практичним ситуацијама када ваљаност добијеног решења проблема распоређивања зависи од више критеријума.

*ATC* правило распоређивања представља комбинацију правила *WSPT* и *MS*. Према овом правилу распоређивања, у временском тренутку  $t$ , приоритет при обради на  $i$ -тој машини која је слободна има производ са највећом вредношћу функције (Lee, Bhaskaran, & Pinedo, 1997):

$$I_j(t) = \frac{w_j}{p_j} e^{\left(\frac{-\max(d_j - p_j - t, 0)}{k_1 \bar{p}}\right)} \quad (1)$$

Где су ознаке у формули (1) правила *ATC* следеће:

$t$  – актуелни временски период;

$j$  – индекс производа који је потребно распоредити;

$w_j$  – тежински коефицијент за  $j$ -ти производ;

$p_j$  – време обраде  $j$ -тог производа;

$d_j$  – рок за завршетак  $j$ -тог производа (производа за који се израчунава вредност функције правила *ATC*);

$\bar{p}$  – просечно време обраде свих производа;

Овде је неопходно напоменути да параметар за скалирање  $k_1$  бира доносилац одлуке (ако је параметар  $k_1$  веома велик, правило *ATC* се понаша као правило приоритета *WSPT*; супротно, ако је параметар  $k_1$  мале вредности и ако не постоје производи који касне, правило *ATC* се понаша као правило *MS*).

*ATCS* правило распоређивања намењено је минимизацији пондерисане вредности укупног кашњења. Правило распоређивања представља комбинацију следећих правила (*WSPT*, *MS* и *SST*). Резултат примене овог правила је компромис између пондерисане вредности најкраћег времена обраде, као и најмањих временских резерви (тј. правила *WSPT* и *MS*). Према овом правилу, приоритет при распоређивању има производ са највећом вредношћу функције (Lee et al., 1997):

$$I_j(t, l) = \frac{w_j}{p_j} e^{\left(\frac{-\max(d_j - p_j - t, 0)}{k_1 \bar{p}}\right)} e^{\left(-\frac{s_{lj}}{k_2 \bar{s}}\right)} \quad (2)$$

где су ознаке у формули (2) правила *ATCS* следеће:

$t$  – актуелни временски период;

$l$  – индекс производа који је управо завршен (или посла који је последњи додат у распоред);

$w_j$  – тежински коефицијент за  $j$ -ти производ;

$p_j$  – време обраде  $j$ -тог производа;

$d_j$  – рок за завршетак  $j$ -тог производа (производа за који се израчунава вредност функције правила *ATCS*);

$\bar{p}$  – просечно време обраде свих производа;

$\bar{s}$  – просечно време припреме свих производа;

$s_{lj}$  – припремно време потребно када производ  $j$  долази на обраду после производа  $l$ ;

$k_1$  и  $k_2$  – параметри за скалирање. Њихову вредност може дефинисати корисник, али се може користити и препорука дата у литератури (*Lee et al.*, 1997).

$$k_1 = 4,5 + R, \text{ за } R \leq 0,5$$

$$k_1 = 6 - 2R, \text{ за } R > 0,5$$

$$k_2 = \frac{\tau}{(2\sqrt{\eta})}$$

где су:

$R = \frac{(d_{max} - d_{min})}{c_{max}}$  - распон рока завршетка (енгл. *Due Date Range*), где је:  $d_{min}$

– најмања вредност рока завршетка од свих производа;  $d_{max}$  – највећа вредност рока завршетка од свих производа;

$\tau = 1 - \frac{\bar{d}}{c_{max}}$  - колико је тесан рок завршетка (енгл. *Due Date Tightness*), где

је:  $\bar{d}$  – просечна вредност рока завршетка од свих производа;

$\eta = \frac{\bar{s}}{\bar{p}}$  - стриктност просечног времена припреме у односу на просечно време обраде послова (енгл. *Setup Time Severity*)

Претходно представљена правила су показала добре резултате у решавању проблема распоређивања код којих се минимизује пондерисано кашњење свих производа  $\sum_{j=1}^n w_j T_j$ .

*Villa* и *Taurino* (2018) су у свом раду представили истраживање примене правила приоритета у производњи МСП. Анализа која је обухватила 100 МСП из Италије је показала следећа најзаступљенија правила распоређивања у оперативном планирању производње: *FIFO*, тежински *FIFO*, *JIT* (помоћу Канбан картица), распоређивање према различитој важности клијената.

Исти аутори (*Villa & Taurino, 2018*) табеларно су представили пример двадесет производних МСП са карактеристикама (број запослених и годишњи промет) и доминантним најзаступљенијим правилом распоређивања које користе у производном процесу (Табела 10).

**Табела 10:** Најзаступљенија правила распоређивања у италијанским МСП

Извор: *Villa & Taurino* (2018, стр. 9)

Делатност	Број запослених [1]	Годишњи промет [€]	Доминантно правило распоређивања [%]
Електронске картице	5	$250 \cdot 10^3$	Тежински <i>FIFO</i>
Пластичне компоненте за аутомобиле	14	$1,3 \cdot 10^6$	Важност клијента
Металне компоненте за аутомобиле	26	$5,8 \cdot 10^6$	90% важност клијента
Челична арматура и шипови за темеље	12	$1,5 \cdot 10^6$	Важност клијента
Душеци	11	$1,2 \cdot 10^6$	40% велике поруџбине
Картице и филмови - албум	8	$470 \cdot 10^3$	30% <i>FIFO</i>
Пластични калупи	15	$2,2 \cdot 10^6$	Случајан начин
Алуминијумски оквири	7	$850 \cdot 10^3$	Важност клијента
Термо-пластични калупи	8	$1,7 \cdot 10^6$	Случајан начин
Торбе за музичке инструменте	19	$1 \cdot 10^6$	Важност клијента
Капсуле за кафу	5	$490 \cdot 10^3$	50% <i>FIFO</i> 50% <i>make-to-stock</i>
Кочионе плочице	14	$490 \cdot 10^3$	60% <i>FIFO</i> 40% <i>make-to-stock</i>
Пнеуматски делови за аутомобиле	44	$5,5 \cdot 10^6$	<i>JIT</i> правило
Машинска обрада метала	19	$1,7 \cdot 10^6$	Важност клијента
Пластични калупи за аутомобиле	10	$2 \cdot 10^6$	Недељни <i>MRP</i>
Печење кафе	9	$1,6 \cdot 10^6$	40% <i>FIFO</i> , 60% залихе
Папир за паковање	6	$1,3 \cdot 10^6$	Важност клијента
Метална столарија	15	$1 \cdot 10^6$	60% <i>FIFO</i> 40% <i>make-to-stock</i>
<i>PVC</i> столарија	16	$6 \cdot 10^6$	70% највеће поруџбине
Дрвена столарија	25	$4,2 \cdot 10^6$	<i>JIT</i> правило

Подаци који су наведени у Табели 10 указују на заступљеност метода правила приоритета у решавању проблема распоређивања у производној пракси МСП.

Сва претходно наведена правила приоритета из Табеле 9 имају једну огромну

предност у односу на егзактне методе решавања и сложеније хеуристичке методе а то је временска ефикасности у генерисању решења. Иако не проналазе оптимална решења, она брзо дају релативно добра решења. Посматрањем резултата примене правила приоритета, у хипотетичком примеру који је анализиран у раду (*Rakićević & Vujošević, 2014*), може се закључити да не постоји универзално правило за распоређивање, већ се препоручује да се на проблему распоређивања примени више правила приоритета у генерисању распореда и изврши избор „најбољег“ распореда по жељеним критеријумима доносиоца одлуке.

### 5.1.2. *Giffler & Thompson (GT)* алгоритам листе

*Giffler & Thompson* алгоритам листе (*Zapfel et al., 2010*, стр. 179) генерише активне распореде сукцесивним додавањем операција, почев од прве операције сваког посла. У свакој итерацији разликују се три врсте операција:

- Распоређене операције: операције које су већ распоређене;
- Операције које се разматрају за распоређивање;
- Операције које се још увек не разматрају за распоређивање.

Из групе операција за распоређивање се бира једна по дефинисаном критеријуму и распоређује се. Операција се зове енгл. „*schedulable*“, могућа за распоређивање, ако су њени претходници распоређени. Конфликт између операција које се разматрају за распоређивање се може јавити када оне конкуришу на истој машини. Ове операције се најчешће међусобно пореде према неком правилу приоритета.

*GT* алгоритам за проблем *Job Shop* представљен је на Слици 29.

Ознаке које се користе у представљеном алгоритму су:

$O_{min}$  – операција са најмањим временом трајања обраде;

$Q$  – скуп тренутно разматраних операција за распоређивање;

$first(j)$  – прва операција производа  $j$ ;

$succ^T(O)$  – технолошки следбеници операције  $O$ ;

$S^e(O)$  – најранији могући почетак операције  $O$ ;

$C^e(O)$  – најранији могући завршетак операције  $O = S^e(O) + p(O)$ ;

$k$  – скуп конфликтних операција;

$Q'$  – скуп расположивих операција на машини која је управо заузета;

$M(O)$  – Машина којој је додељена операција  $O$ ;

$r(k)$  – најранији тренутак када машина  $k$  постаје слободна.

*Иницијализација:*  $Q = \cup_{j=1}^n \{first(j)\}$ ;

$S^e(O) = 0, \forall O \in Q$ ;

$r(O) = 0, \forall 1 \leq k \leq n$ ;

**While**  $Q \neq \emptyset$  **do**

    Одредити  $C_{min} = \min_{O \in Q} (S^e(O) + p(O))$ ;

    Направити скуп конфликта  $K = \{O \mid O \in Q \wedge M(O) = M(O_{min}) \wedge S^e(O) < C_{min}\}$ ;

    Изабрати операцију  $O' \in K$  која ће бити распоређена следећа;

    Уклонити операцију  $O'$  из  $Q$ :  $Q = Q \setminus \{O'\}$ ;

    Поставити  $r(M(O')) = C^e(O')$ ;

    Одредити скуп  $Q' = \{O \mid O \in Q \wedge M(O) = M(O')\}$ ;

**For all**  $O \in Q'$  **do**

$S^e(O) = \max(S^e(O), r(M(O')))$ ;

**end.**

**For all**  $O \in succ^T(O')$  **do**

$Q = Q \cup \{O\}$ ;

$S^e(O) = \max(S^e(O), r(M(O)))$ ;

**end.**

**end.**

**Слика 29:** *GT* алгоритам за проблем *Job Shop*

**Извор:** Zapfel et al. (2010, стр. 179)

Пример примене *GT* алгоритма на проблем *Job Shop* може се видети у Прилогу 1в докторске дисертације.

### 5.1.3. Хеуристика премештања уских грла

Процедура за хеуристику премештања уских грла (енгл. *Shifting Bottleneck Heuristics - SBH*) је развијена од стране (Adams, Balas, & Zawack, 1988) за класични *Job Shop* проблем. Овај приступ у распоређивању у целом производном постројењу може се исказати на следећи начин (Uzsoy, Lee, & Martin-Vega, 1994):

1. Поделити производно постројење у неколико радних центара. Радни центри се могу састојати из појединачних машина, скупа паралелних идентичних машина;
2. Представити проблем дисјунктним графом;
3. Извршити распоређивање у сваком радном центру који није распоређен, и



искористи меру перформанси за рангирање радних центара по поретку према критичности. Изменити редослед на радном центру који има највећу критичност;

4. Употреби дисјунктни граф за приказ интеракције између радних центара на којима је извршено распоређивање и оних на којима то није;
5. Прераспореди оне радне центре на којима је већ извршено распоређивање користећи информацију добијену у кораку 4. Ако је на свим радним центрима извршено распоређивање, стаје се. У супротном враћа се на корак 3.

Ова хеуристичка метода решавања проблема *Job Shop*, заснована је на коришћењу дисјунктног графа. Хеуристика премештања уских грла (*Adams et al.*, 1988; *Asadathorn*, 1997) рашчлањује проблем на више мањих проблема, како би пронашла задовољавајуће решење полазног проблема. Прецизније, она дели проблем распореда неколико производа на  $m$  машина, на  $m$  проблема распореда на једној машини. У свакој итерацији постоје машине на којима је извршено распоређивање у претходним итерацијама. Распоређивање се прво врши на некој новој машини, која представља уско грло, према решењу тј. редоследу производа добијеном решавањем проблема распоређивања само на тој машини, са циљем минимизације одређене критеријумске функције. Уско грло је она машина или машински центар који је најкритичнији са аспекта вредности те критеријумске функције. Након распоређивања на машини која у посматраном тренутку представља уско грло, хеуристиком се даље покушава поново ревидирати већ распоређени производи како би се добио бољи распоред. Метода покушава да прераспореди већ распоређене производе, да би се смањило укупно кашњење.

**Табела 11:** Параметри проблема распореда на једној машини за примену *SBH*

Параметар	Значење
$p_{ij}$	Време обраде $j$ -тог производа на $i$ -тој машини, или време трајања операције $(i,j)$ .
$r_{ij}$	Време када $j$ -ти производ постаје расположив на машини $i$ (време када операција $(i,j)$ постаје расположива); израчунава се на основу најдужег пута у графу $G$ – од почетног чвора $S$ , до чвора који означава операцију $(i,j)$ .
$d_{ij}$	Временски период када производ $j$ треба да заврши обраду на $i$ -тој машини одређује се као: дужина $C_{max}(M_0)$ из претходне итерације, од које се одузима најдужи пут у графу $G'$ тренутне итерације, од чвора $(i,j)$ до завршног чвора $T$ , а на коју се додаје време обраде $p_{ij}$ .

Параметри проблема распоређивања који се разматра у методи премештања уских грла, се представљају у Табели 11. Сам алгоритам методе премештања уских грла је представљен на Слици 30. Према *Pinedo*, (2009, стр. 89), значење појединих ознака у алгоритму методе премештања уских грла (Слика 30) је:

- $M$  - скуп  $m$  машина;
- $M_0 \subset M$  - подскуп машина за које је редослед производње производа одређен у претходним итерацијама. Реч је о машинама за које је распоређивање већ извршено;
- $M \setminus M_0$  – скуп машина за које је потребно извршити распоређивање;
- $G_k$  - конјунктни граф  $G_k = (N, A)$ ;
- $C_{max}(\emptyset)$  – најдужи пут у конјунктном графу  $G_k = (N, A)$ ; дужина производног циклуса у полазном конјунктном графу одређује се преко најдуже путање кроз граф  $G$ ;
- $G'$  - граф добијен од  $G_k$  додавањем оних лукова из  $B$  који одговарају већ распоређеним машинама из  $M_0$ ;
- $C_{max}(M_0)$  – дужина производног циклуса за распоред који је већ генерисан, одређује се и преко најдужег пута у графу  $G'$ ;
- $1/r_j, d_j / L_{max}$  – проблем распореда за једну машину који се користи у методи за одређивање уских грла.

Овде је неопходно напоменути да је улога корака 4. проналажење бољег распореда који има мању вредност дужине производног циклуса ( $C_{max}$ ), а који се налази у околини претходно генерисаног распореда. Овакав систем проналажења решења је основ хеуристике локалног претраживања, које је нешто касније објашњено.

Илустративни пример решавања проблема *Job Shop J4||C<sub>max</sub>* за ( $n = 3$ ) са хеуристиком премештање уских грла, био је приказан у оквиру приступног рада ове докторске дисертације.

**Корак 1.** Подесити почетне услове:

- $M_0 = \emptyset$
- Формирати граф  $G_k(N,A)$  са свим конјунктним луковима и без дисјунктног лука.
- Граф  $G'$  је идентичан графу  $G_k$ .
- Одредити  $C_{max}(M_0)$  као најдужа путања у графу  $G'$ .

**Корак 2.** Анализа машина на којима још увек није извршено распоређивање:

- За сваку машину  $i$  у скупу машина  $M \setminus M_0$  дефинисати:
- Формирати проблем распоређивања само на  $i$ -тој (једној) машини са свим операцијама које зависе од  $r_{ij}, d_{ij}$  (Табела 11), тј. проблем  $(1 | r_j, d_j | L_{max})$ , тако да се минимизује вредност највећег кашњења. Проблем се решава еnumerацијом или неком од метода која не мора да гарантује оптимално решење.
- $L_{max}(i)$  означава најмању вредност највећег кашњења ( $\min_i L_{max}$ ) која се на тај начин добија.

**Корак 3.** Избор машине која представља уско грло:

- Одредити машину ( $h$ ) као машину са највећом минималном вредношћу кашњења, која је добијена решавањем проблема у кораку 2, тј.

$$L_{max}(h) = \max_{i \in M \setminus M_0} (L_{max}(i))$$

- Таква машина представља уско грло ако је  $L_{max}(h) > 0$ . Ова машина проузрокује највише проблема за критеријум ( $L_{max}$ ), па прво треба извршити распоређивање на њој. Распоређивање на машини ( $h$ ) се врши на основу распореда који је генерисан у Кораку 2.
- На основу добијеног распореда машине ( $h$ ), додати одговарајуће дисјунктне лукове графу  $G'$ .
- Кориговати вредност најдуже путање кроз граф  $G'$  за ново распоређену машину:  $C_{max}(M_0 \cup h) = C_{max}(M_0) + L_{max}(h)$
- Доделити машину ( $h$ ) скупу машина на којима је већ извршено распоређивање ( $M_0$ ):  $M_0 = M_0 \cup \{h\}$ .
- Ако је  $L_{max}(h) = 0$ , тј. ни код једне машине из  $M \setminus M_0$  нема кашњења, алгоритам стаје и добијени распоред по машинама су решења полазног проблема.

**Корак 4.** Поновно одређивање редоследа производа на машинама

- За сваку машину  $l \in M_0 \setminus \{h\}$ , за коју је  $L_{max}(h) > 0$  урадити следеће:  
Избрисати одговарајуће дисјунктне лукове у графу  $G'$ . Формулисати проблем распоређивања на једној машини  $(1 | r_j, d_j | L_{max})$  за ту машину  $l$ . Параметри  $r_{ij}$  и  $d_{ij}$  се одређују као у Кораку 2.  
Проблем се решава и у случају промена у распореду, када се у граф  $G'$  уносе одговарајући дисјунктни лукови.

**Корак 5.** Услов за заустављање алгоритма

- Када се за све машине изврши распоређивање ( $M_0 = M$ ) алгоритам стаје, у супротном иде се поново на Корак 2.

**Слика 30:** Алгоритам методе премештања уских грла

**Извор:** Pinedo (2005, стр. 195); Pinedo (2009, стр. 90)

#### 5.1.4. Метода локалног претраживања

За решавање проблема распоређивања користе се бројне друге методе и хеуристике. Најчешћу примену имају метахеуристике које нису само намењене проблемима распоређивања, већ се користе и за решавање других проблема у операционим истраживањима. Данас, најпознатије метахеуристичке методе су опште локално претраживање, симулирано каљење, табу претраживање, метода променљивих околина и генетски алгоритми (*Jones, Rabelo, & Sharawi, 1999*).

На Слици 31 је представљен алгоритам методе општег локалног претраживања.

**Корак 1:** Подесити  $k=0$ .

Почети са једним распоредом  $S_0$  и означити га као тренутно најбољи распоред ( $S^*$ )  $S^*=S_0$

Почетно решење се може генерисати помоћу хеуристике која користи неко једноставно правило распоређивања (*EDD, ERD, SPT, LPT* и др.);

**Корак 2:** Изабрати неки распоред  $S_c$  из околине  $N(S_k)$  решења  $S_k$  које је генерисано у  $k$ -тој итерацији.

Сусед  $S_c$  се може уочити на неком од следећих начина:

Решење које се налази у околини почетног решења или решења генерисаног у  $k$ -тој итерацији може се добити на неком од следећих начина:

- Међусобном разменом места два поретка у  $S_k$ ;
- Померањем редоследа обраде производа у  $S_k$ ;

**Корак 3:** Ако је распоред  $S_c$  допустив, нека је  $S_{k+1} = S_c$ , у супротном  $S_{k+1} = S_k$ .

Ако је добијено решење  $S_{k+1}$  боље према критеријумској функцији од  $S_k$ , тј.  $G(S_{k+1}) < G(S_k)$ , прогласити га за тренутно најбоље  $S^* = S_{k+1}$

**Корак 4:** Прећи на наредну итерацију,  $k=k+1$ . Завршити алгоритам ако је критеријум за заустављање задовољен, у супротном вратити се на корак 2.

Неки од критеријума заустављања процедуре локалног претраживања могу бити:

- Ограничен број итерација алгоритма;
- Долазак у ситуацију да алгоритам не пружа напредак, тј. не постоји распоред  $S \in N(S_k)$  који задовољава  $G(S) < G(S_k)$ .

**Слика 31:** Алгоритам методе локалног претраживања

**Извор:** модификовано *Pinedo* (2005, стр. 431-432)

Описана методологија користи се и као оквир за метахеуристике као што су: симулирано каљење, табу претраживање и метода променљивих околина (*Pinedo, 2005, стр. 428*).

Ако се дефинише са  $S=(j_{11}, \dots, j_{1n}, \dots, j_{m1}, \dots, j_{mn})$  један распоред производа по машинама, где је  $j_{ks} = j$  ако је  $j$ -ти производ  $k$ -ти по реду на машини  $s$ ).  $G(S)$  је вредност критеријумске функције за распоред  $S$ .

Механизми који се могу користити за генерисање околине тренутног решења могу бити следећи (Zapfel et al., 2010, стр. 189):

**1) Замена две узастопне операције у редоследу.**

$$M1: O_{13}; O_{12}; O_{11} \rightarrow M1: O_{13}; O_{11}; O_{12}$$

$$M2: O_{23}; O_{22}; O_{21} \rightarrow M2: O_{23}; O_{22}; O_{21}$$

$$M3: O_{33}; O_{32}; O_{31} \rightarrow M3: O_{33}; O_{32}; O_{31}$$

**2) Померање редоследа обраде производа**

$$M1: O_{13}; O_{12}; O_{11} \rightarrow M1: O_{12}; O_{11}; O_{13}$$

$$M2: O_{23}; O_{22}; O_{21} \rightarrow M2: O_{23}; O_{22}; O_{21}$$

$$M3: O_{33}; O_{32}; O_{31} \rightarrow M3: O_{33}; O_{32}; O_{31}$$

**3) Убацивање у редослед операција**

$$M1: O_{13}; O_{12}; O_{11} \rightarrow M1: O_{11}; O_{13}; O_{12}$$

$$M2: O_{23}; O_{22}; O_{21} \rightarrow M2: O_{23}; O_{22}; O_{21}$$

$$M3: O_{33}; O_{32}; O_{31} \rightarrow M3: O_{33}; O_{32}; O_{31}$$

У механизмима генерисања околине тренутног распореда, постоје и извесне препоруке (Zapfel et al., 2010, стр. 188):

- Приликом међусобне замене места операција у редоследу препорука је да се разматрају суседне операције за адекватну дефиницију околине;
- Препорука је да се скуп разматраних операција за замену ограничи на критичне операције тј. операције на критичном пут. Критични пут одређује дужину трајања распореда. На овај начин број корака је мањи а добијено решење може водити ка смањењу дужине критичног пута. За свако допустиво почетно решење постоји коначна трајекторија корака која води у глобално оптимално решење;
- Препорука за смањење броја корака јесте да се замене врше између операција које се налазе на почетку неког критичног блока или операција које се налазе на крају неког критичног блока.

### 5.1.5. Табу претраживање за проблем *Job Shop*

Табу претраживање (енгл. *Tabu Search - TS*) је метахеуристика заснована на локалном претраживању, оригинално предложена од стране *Glover* (1986). Табу претраживање имитира логику интелигентног људског претраживања са памћењем. Базира се на локалном претраживању и адаптивној меморији о раније генерисаним решењима и њиховим особинама (Слика 32). Табу претраживање има особину да током претраживања забрањују нека раније генерисана, а запамћена решења помоћу табу листе. Тако се спречава циклирање, тј. враћање у нека решења у којима је претраживање већ било.

У Табу листу се најчешће ставља редослед операција за који се спречава да промене редослед тј. да поједине операције замене места. Према *Zapfel et al.*, (2010, стр. 191), величина Табу листе се одређује помоћу формула (3) (*Zapfel et al.*, 2010, стр. 191):

$$|T| = \frac{(n + m)}{2} \quad \text{или} \quad |T| = \frac{N}{2} \quad (3)$$

где је:

$N$  – број операција;

$n$  – број производа;

$m$  – број машина.

*Креирати почетно решење  $s$*

*Иницијализовати табу листу  $T$*

**While** критеријум извршавања није задовољен **do**

*Одредити околину  $N$  тренутног решења  $s$ ;*

*Изабрати најбоље решење  $s'$  из околине  $N$  или из  $N'$ , где је  $N' \in N$  које није табу;*

*Прећи у решење  $s'$  (тренутно решење  $s$  је замењено са  $s'$ );*

*Ажурирати табу листу  $T$ ;*

*Ажурирати најбоље нађено решење (уколико је потребно);*

**end**

**return** Најбоље нађено решење.

**Слика 32:** Алгоритам за методу Табу претраживање

**Извор:** *Zapfel et al.* (2010, стр. 190)

Пример решавања проблема *Job Shop*  $J3||C_{max}$  за ( $n=3$ ) са хеуристиком Табу претраживање је био приказан у оквиру приступног рада докторске дисертације.

### 5.1.6. Симулирано каљење за проблем *Job Shop*

Симулирано каљење (енгл. *Simulated Annealing - SA*) је хеуристика заснована на локалном претраживању, развијена од стране *Kirkpatrick, Gelatt* и *Vecchi* (1983). Симулирано каљење базира се на алгоритмима статистичке термодинамике који симулирају хлађење растопљеног материјала: Материјал се постепено хлади до чврстог стања. Ако се довољно полако хлади, материјал ће на крају достићи правилну кристалну структуру, тј. стање минималне енергије. У симулираном каљењу се простор допустивих решења претражује на случајан начин коришћењем принципа локалног претраживања. При томе се контролисано дозвољава прелазак у „гора“ решења да би се избегле замке локалних минимума. Суседи из околине тренутног решења са лошијом функцијом циља се прихватају али са извесном вероватноћом која се контролисано мења током итерација.

```
Креирати почетно решење  $s$ ;  
Подесити почетну температуру  $T_0$ ;  
Поставити број испитивања на сваком температурном нивоу (дужина нивоа  $L$ )  
Подесити бројач нивоа  $k = 0$   
while критеријум завршетка није задовољен do  
    for  $i=1$  to  $L$  do  
        Креирати новог суседа  $s'$  примењујући случајан потез померањем ка  $s$ ;  
        Прорачунати разлику у трошковима  $\Delta C$  између  $s'$  и  $s$ :  $\Delta C = C(s') - C(s)$ ;  
        if  $\Delta C \leq 0$  then  
            Прећи у решење  $s'$  (тренутно решење  $s$  је замењено са  $s'$ );  
        else  
            Креирати случајан број  $r \in [0,1]$ ;  
            If  $r \leq \exp(-\Delta C/T_k)$  then  
                Прећи у решење  $s'$  (тренутно решење  $s$  је замењено са  $s'$ );  
            end  
        end  
    end  
    Ажурирати најбоље решење које је пронађено (ако је неопходно);  
    Поставити  $k = k+1$   
    Подесити / ажурирати вредност температуре  $T_k$  за наредни ниво  $k$ ;  
end  
return најбоље нађено решење
```

Слика 33: Алгоритам за методу Симулирано каљење

Извор: *Zapfel et al.* (2010, стр. 199)

Према Крчевинац и други, (2004, стр. 533) вероватноћа прихватања погоршавања

решења је представљена формулом (4):

$$P\{\text{прихватања } X\} = e^{-\frac{[f(x')-f(x_n)]}{t_n}} \quad (4)$$

где је:  $t_n$  је тзв. температура у итерацији  $n$ . То је позитивни контролни параметар чије су вредности задате низом  $t_1, t_2, \dots, t_n$  и  $\lim_{n \rightarrow \infty} t_n = 0$  – овакав низ се зове „шема хлађења“. „Температура хлађења“ помаже у смањењу вероватноће прихватања решења која погоршавају функцију циља. Алгоритам хеуристике симулирано каљење је представљен на Слици 33.

Илустративни пример решавања проблема *Job Shop J3||C<sub>max</sub>* за ( $n = 3$ ) са хеуристиком симулирано каљење, био је приказан у оквиру приступног рада ове докторске дисертације.

### 5.1.7. Генетски алгоритми и проблем *Job Shop*

Концепт генетских алгоритама развијен је од стране *Holland* (1970), седамдесетих година прошлог века. Генетски алгоритми су алгоритми локалне претраге (*Pezzella et al.*, 2008) који се базирају на алгоритмима за симулацију процеса генетске еволуције једне популације јединки под дејством окружења и генетских оператора. По овом концепту у природи, слабе и неприлагођене врсте у својој животној средини, сусрећу се са проблемом изумирања у процесу природне селекције. Снажне и прилагођене јединке неке врсте имају већу шансу да пренесу своје гене на будуће потомство у процесу репродукције. Овим поступком јединке неке врсте које носе адекватну комбинацију гена, постају доминанте у популацији своје врсте. Понекад у процесу генетске еволуције, присутне су мале случајне промене које могу настати у генима а познате су као процес мутације.

Да би се адекватно приказао процес генетске еволуције, сваком решењу ( $x$ ) (јединки или хромозому јединке) из простора допустивих решења  $x \in \mathcal{X}$  проблема који се посматра се додељују на тачно дефинисан начин један низ коначне дужине на неком коначном азбуком симбола који се назива код овог решења (гени јединке). Скуп кодова свих допустивих решења из  $\mathcal{X}$  чини простор кодираних решења  $\bar{\mathcal{X}}$  (*Zapfel et al.*, 2010; Крчевинац и други, 2004). Тумачећи неко решење из  $\mathcal{X}$  као јединку, а његов код као хромозом те јединке, генетски алгоритам у свакој итерацији генерише скуп више тачака из  $\bar{\mathcal{X}}$  који представљају



популацију јединки. Међу свим техникама решавања проблема *JS* и *FJS* распоређивања, генетски алгоритми су најраспрострањенији у овој области (Chaudhry & Khan, 2016). Разлози примене генетских алгоритама у решавању проблема *JS* и *FJS* су бројни (Chen, Weng, Rong, & Fujimura, 2015): генеришу веома квалитетна решења у разумном времену; постоје бројни начини кодирања решења у генетским алгоритмима; нуде различите оператере генерисања нових решења који могу избећи локалне минимуме.

Код генетских алгоритама и проблема *Job Shop* поставља се питање начина кодирања решења проблема. Један од најчешће коришћених начина је:

Кодирана матрица редоследа послова (енгл. *Job Sequence Matrix Encoding*) – највише се користи за проблеме распореда на више машина (енгл. *Multi-Machine Scheduling*). То је посебан тип пермутације где се редослед процесирања производа одвојено представља за сваку машину.

$M1: O_{11}; O_{13}; O_{12} \rightarrow M1: J_1; J_3; J_2$

$M2: O_{22}; O_{23}; O_{21} \rightarrow M2: J_2; J_3; J_1$

$M3: O_{31}; O_{32}; O_{33} \rightarrow M3: J_1; J_2; J_3$

Код овог кодирања постоје следећи проблеми:

- не може се одмах одредити вредности функције циља;
- појединачни распоред тј. матрица се може односити на недопустив распоред.

Алгоритам који је представљен на Слици 34, у облику псеудо кода за хеуристику генетски алгоритми, састоји се од низа следећих активности:

1. **Иницијализација** за одређивање почетне популације може се користити *GT* алгоритам или неко правило приоритета у распоређивању;
2. **Селекција** – јединки из популације према функцији погодности (енгл. *Fitness Function*)  $\phi(\bar{X})$  што представља погодност неке јединке из тренутне популације, по аналогији са прилагођеношћу одређене јединке тренутном стању окружења. Функција погодности најчешће узима вредност преко функције циља декодираног решења полазног проблема  $\phi(X) = -f(d(\bar{X}))$ ;
3. **Рекомбинација** – тј. укрштање (енгл. *Crossover*) размена генетског материјала. Рекомбинација је најважнији оператор генетских алгоритама. У процесу рекомбинације две јединке (родитељи) се комбинују заједно и

формирају две нове јединке (потомци). Постоје две врсте оператора укрштања која служе за размену генетског материјала између јединки:

- енгл. *Subsequence Exchange Crossover (SXX)* – укрштање поднизова редоследа на појединим машинама. У наредном примеру два решења су заменила редоследе на првој и другој машини а редослед на трећој машини је остао исти.

321    312  
321 + 231  
321    132  
SXX  
312    321  
231 и 321  
321    132

- енгл. *Job-Based Order Crossover (JOX)* – укрштање засновано на поретку производа. Одређује се на случајан начин један или више операција тј. обрада производа (гени једног родитеља) чија позиција остаје иста у добијеним потомцима а остале позиције се попуњавају редоследом од другог родитеља. У наредном примеру два решења се укрштају, редослед обраде производа 3 остаје идентичан код полазног решења а редоследи производа 1 и 2 се преузимају из другог решења.

321    312  
321 + 231  
321    132  
JOX  
312    321  
321 и 231  
312    231

4. **Мутације** – подразумева случајну промену у генима јединки у популацији. Мутације се генерално примењују на нивоу гена јединки у популацији. То практично значи случајну промену редоследа обраде производа на једној машини. Мутација има за циљ да не дође до циклирања решења као и улогу механизма за напуштање локалних оптимума и прелазак у неке друге делове допустиве области. Најједноставнији начин мутације је произвољна замена места у редоследу операција (обраде производа) на машинама. Приликом

декодирања решења добијеног генетским алгоритмима ради проналаска допустивог решења, уз помоћ на пример *GT* алгоритма, може се десити да се неутралише мутација. Још један од могућих начина је премештање истог производа по свим машинама у истом смеру за одређени број места:

312      231 - произвољна замена места, 2 долази на прво место

321 => 231 - 2 долази на прво место, премештање за једно место напред

312      321 - 2 долази на друго место, премештање за једно место напред

5. **Евалуација** – има за циљ да одреди квалитет генерисане популације јединки (решења). У погледу генетског алгоритма, евалуациона функција се назива функцијом подобности –  $\Phi(X)$ . Евалуација има за циљ да вреднује генерисану популацију јединки и да изабере тј. изврши селекцију оних решења која имају највећу вредност функције подобности (најподобније јединке за даље укрштање). Функција подобности не мора бити идентична критеријумској функцији, али може бити од ње изведена.

**Иницијализација:**

$P \leftarrow$  Почетна популација

$P \leftarrow$  евалуирати  $P$

**While** критеријум завршетка није задовољен **do**

$P' \leftarrow$  рекомбиновати (селектовати( $P$ ));

$P'' \leftarrow$  мутирати ( $P'$ )

$P'' \leftarrow$  евалуирати ( $P''$ )

$P \leftarrow$  заменити ( $P'' \cup P$ )

**end.**

**Слика 34:** Псеудо код генетски алгоритми

**Извор:** Zapfel et al. (2010, стр. 222)

Пример примене методе генетски алгоритам за проблем *Job Shop J3* ||  $C_{max}$ , је представљен у Прилогу 1г докторске дисертације. Што се тиче проблема *DRCFJS*, примена генетских алгоритама постаје значајно сложенија. Због тога се на основу рада аутора (*Gong et al.*, 2018), и примера датог у Табели 12 представља: начин кодирања, структура хромозома, оператори размене генетског материјала, и процес мутације. Кодирање једног редоследа операција у решења је представљено на Слици 35. Свакој операцији се додељује једна целобројна вредност из низа од 1

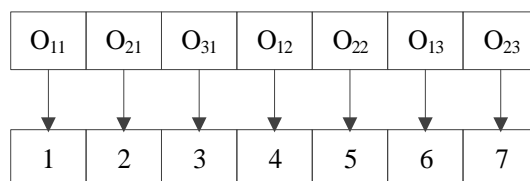
до  $n_{op}$  што представља укупан број операција.

**Табела 12:** Пример *DRCFJS* три производа на пет машина и три радника

**Извор:** *Gong et al.* (2018, стр. 564)

		<i>M1</i>			<i>M2</i>			<i>M3</i>			<i>M4</i>			<i>M5</i>		
		<i>W1</i>	<i>W2</i>	<i>W3</i>	<i>W1</i>	<i>W2</i>	<i>W3</i>	<i>W1</i>	<i>W2</i>	<i>W3</i>	<i>W1</i>	<i>W2</i>	<i>W3</i>	<i>W1</i>	<i>W2</i>	<i>W3</i>
<i>P1</i>	<i>O<sub>11</sub></i>	9	10	-	6	7	9	-	-	-	14	-	-	-	-	-
	<i>O<sub>21</sub></i>	5	8	-	-	-	-	6	7	9	-	-	-	7	9	-
	<i>O<sub>31</sub></i>	-	-	-	-	-	-	6	-	-	7	8	10	7	12	-
<i>P2</i>	<i>O<sub>12</sub></i>	5	6	8	-	-	-	-	-	-	7	8	-	6	-	-
	<i>O<sub>22</sub></i>	4	6	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	6	7	-
<i>P3</i>	<i>O<sub>13</sub></i>	5	8	-	6	9	-	-	-	-	5	-	6	-	-	-
	<i>O<sub>23</sub></i>	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-

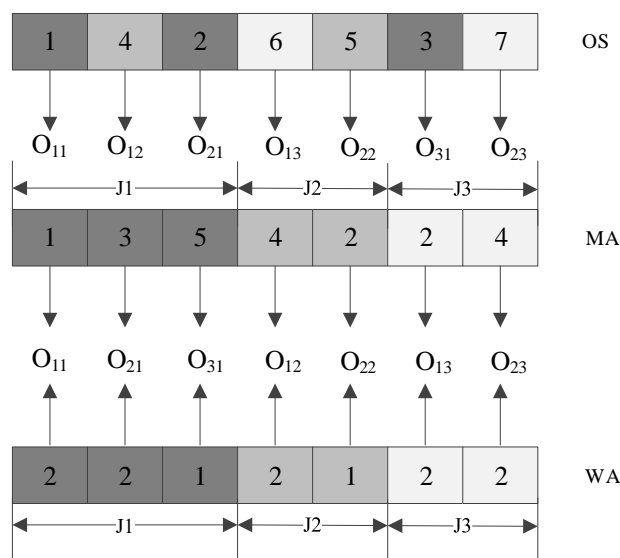
Једно решење проблема *DRCFJS* може се представити као структура кодова која се састоји из три нивоа (*Gong et al.* 2018). Први ниво чини код редоследа операција (енгл. *Operations Sequence - OS*), претходно представљен на Слици 35.



**Слика 35:** Псеудо код Генетски алгоритми

**Извор:** *Gong et al.* (2018)

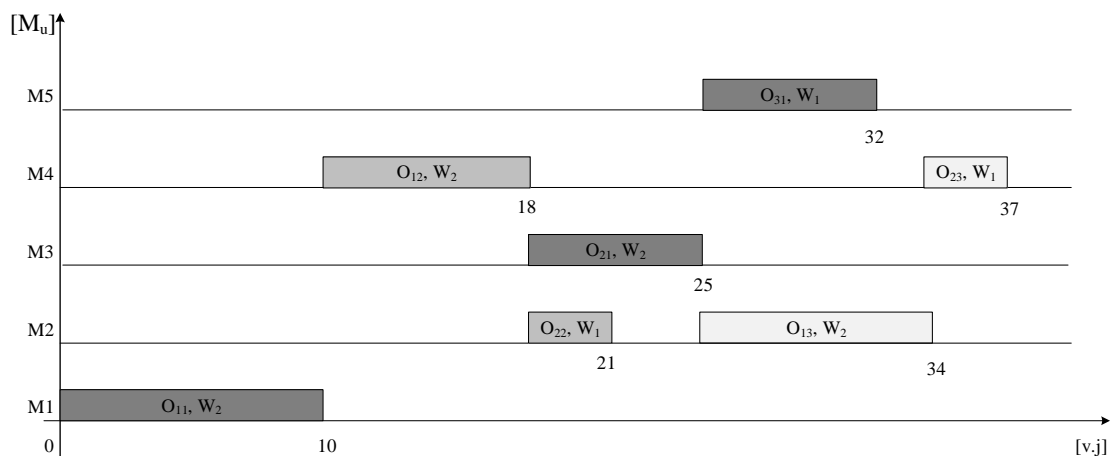
Други ниво чини код додељених машина за поједине операције (енгл. *Machine Assignment - MA*), а трећи ниво чини код додељених радника по појединим машинама и операцијама (енгл. *Worker Assignment - WA*). На Слици 36 је представљена структура хромозома (три нивоа) једног решења за пример распореда три производа на пет машина и два радника.



Слика 36: Структура хромозома – операције, машине и радници

Извор: Gong et al. (2018)

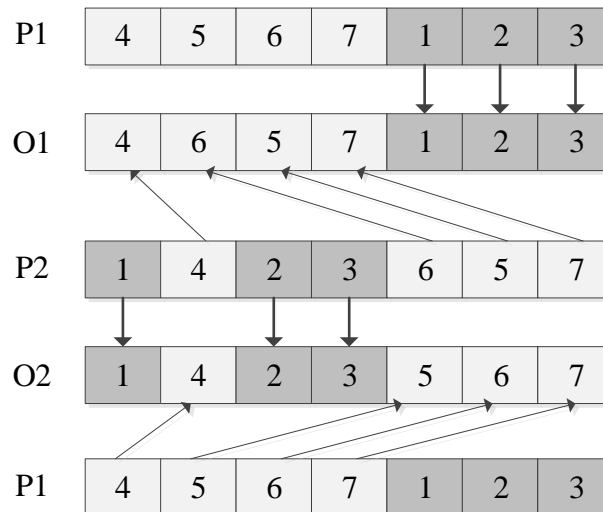
На основу кодираног решења приказаног на Слици 36, декодирано решење у облику гантограма приказано је на Слици 37.



Слика 37: Декодирано решење у виду гантограма

Поступак генерисања нових решења на проблему *DRCFJS*, према Gong et al. (2018), одвија се према уобичајеној процедури, размена генетског материјала па мутација. Сврха размене генетског материјала родитеља у популацији је добијање других јединки (решења). Пример размене генетског материјала под називом *JBX* (енгл. *Job Based Crossover*) између две јединке у популацији представљен је на Слици 38. На основу размене генетског материјала два родитеља (енгл. *Parents*) *P1* и *P2* (који представљају редослед операција) добијају се два нова потомка (енгл. *Offspring*) *O1* и *O2*. Редослед у решењу „потомка“ *O1* добијен је тако што су

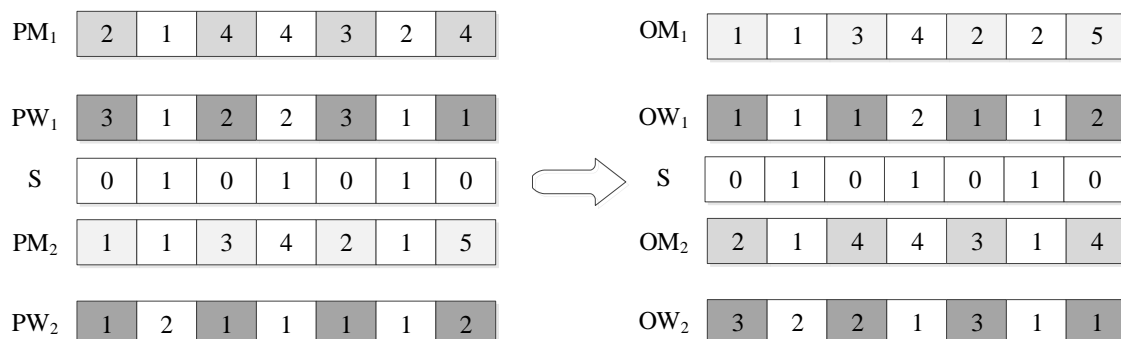
операције са кодовима 1,2,3 од родитеља  $P1$ , задржале постојећи редослед а остале операције 4,5,6 и 7 су преузеле редослед од другог родитеља  $P2$ . Слично је и са решењем  $O2$ .



Слика 38:  $JBX$  размена редоследа операција

Извор: Gong et al. (2018)

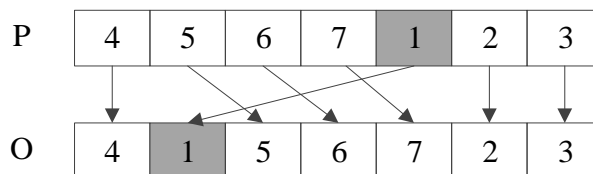
Поред размене генетског материјала за редослед операција, постоје и оператори  $RPX$  (енгл. *Random Probability Crossover*), који служе за размену додељених ресурса (машина и радника), представљен на Слици 39. Укрштањем генетског материјала два родитеља (представљени распореди додељених машина и радника), путем бинарног низа  $S$ , реализује се овај облик размене генетског материјала. У бинарном низу важи правило: за број 1, потомак преузима генетски материјал (додељене ресурсе) од првог родитеља, а за број нула, потомак преузима генетски материјал од другог родитеља.



Слика 39:  $RPX$  размена додељених машина и радника

Извор: Gong et al. (2018)

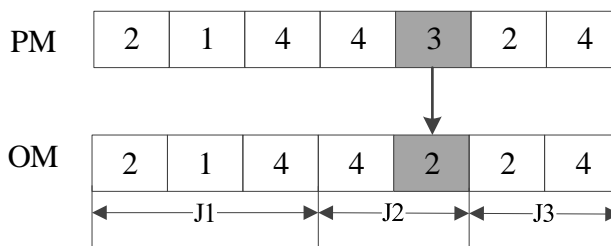
Након процеса размене генетског материјала, следи процес мутације. Исти аутор наводи и процес мутација који се реализује на сваком нивоу засебно. Процес мутације за редослед операција представљен је на Слици 40. Операција са кодом 1 ( $O_{11}$ ), на случајан начин је променила редослед у односу на остале операције.



Слика 40: Мутације у редоследу операција

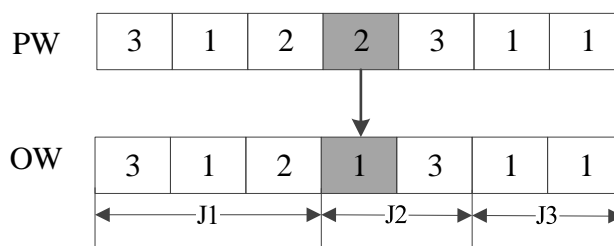
Извор: Gong et al. (2018)

Процес мутације за додељене ресурсе (машине) приказан је на Слици 41. Процес мутације за додељене раднике приказан је на Слици 42. Процес мутације додељених ресурса се реализује тако што се на случајан начин промени додељени ресурс за једну на случајан начин изабрану операцију.



Слика 41: Мутације у распореду машина

Извор: Gong et al. (2018)



Слика 42: Мутације у распореду радника

Извор: Gong et al. (2018)

### 5.1.8. Метода променљивих околина и проблем *Job Shop*

Метода променљивих околина (енгл. *Variable Neighborhood Search - VNS*) је метахеуристика која се заснива на принципу локалног претраживања, а развили су је *Nenad Mladenović* и *Pierre Hansen* (*Mladenović & Hansen, 1997*). *VNS* хеуристика

у свакој итерацији врши системско преструктурирање околине. Ова метода полази од коначног низа унапред задатих структура околине  $N_1, N_2, \dots, N_{k_{max}}$ . Контролисаним коришћењем различитих типова околине омогућава се избегавање заустављања у локалним минимумима, као и диверсификација (тј. глобално ширење претраживања у неке нове области) простора  $X$ . Ова фаза диверсификације се у свакој итерацији смеђује са фазом интензификације у којој се врши локално побољшавање случајно изабране тачке  $x'$ , при чему се претраживање ограничава на мањи део простора  $X$  који садржи неки локални минимум проблема. Општи алгоритам за методу променљивих околина приказан је на Слици 43.

**Иницијализација:** Изабрати почетно решење  $x_1 \in X$ .

**Итеративни корак:** за  $n=1, 2, \dots$ ;  $k=1, 2, \dots, k_{max}$ .

Поставити  $k=1$

Све док је  $k \leq k_{max}$  понављати следеће кораке:

- Генерисати на случајан начин неко  $x'$  из  $N_k(X_n)$
- Полазећи од  $x'$  применити неку методу спуштања и означити са  $x''$  тако добијени локални минимум
- Ако је  $f(x'') < f(x_n)$ , тада  $x_{n+1} = x''$  и иде се на следећи итеративни корак  $n+1$
- Ако је  $f(x'') \geq f(x_n)$  тада:
  - За  $k = k_{max}$ , поставити  $k = 1$
  - За  $k < k_{max}$  поставити  $k = k+1$  (мења се околина)

**Крај:** Ако је испуњен критеријум заустављања стаје се, а  $X_n$  се узима за апроксимацију оптималног решења.

**Слика 43:** Алгоритам Методе променљивих околина

**Извор:** Крчевинац и други (2004, стр. 540)

Полазећи од почетног решења  $x_1$ , структура прве околине ( $N_1$ ) се односи на промену две узастопне операције на једној истој машини која је на случајан начин изабрана. Након генерисања случајног решења у околини полазног решења покушава се узастопном заменом операција на једној машини доћи до локалног минимума. Уколико је добијена вредност функције боља од полазног решења (или тренутно генерисаног решења) прелази се у суседну тачку од које се поново на случајан начин бира сусед из њене околине ( $N_1$ ). Уколико је добијена вредност



функције циља добијеног локалног оптимума нижа од тренутно најбоље вредности, претрага се враћа на претходно решење а узима се друга структура околине ( $N_2$ ) – узастопна замена места операција на две произвољне машине. Случајно генерисано решење из околине  $N_2$  се покушава локално оптимизовати (замена редоследа операција на једној машини). Ако се генерише боље решење прелази се у суседну тачку а ако је генерисано лошије решење од тренутно најбољег потребно је вратити се на претходни корак са променом структуре околине. Дакле, неки од примера околина у контексту проблема *Job Shop* су:

- $N_1$  – почетна структура околине: случајна замена операција на произвољној машини (или промена редоследа операција); Проналажење локалног оптимума: промена у редоследу обраде операција на произвољној машини;
- $N_2$  – структура околине: случајна замена редоследа операција на произвољне две машине; Проналажење локалног оптимума: промена у редоследу обраде операција на произвољној машини;
- $N_3$  – структура околине: случајна замена редоследа операција на произвољне три машине; Проналажење локалног оптимума: промена у редоследу обраде операција на произвољној машини;
- ...
- $N_k$  – број околина може зависити од величине проблема на који се примењује метода променљивих околина. Број структура околине је ограничен са бројем машина на којима се врши распоређивање

Велики број метахеуристика заснива се на итеративном приступу у генерисању новог решења у околини постојећег. У овом делу докторске дисертације је, на једном једноставном примеру представљена могућност за итеративно генерисање локалног решења проблема *DRCFJS*, овај корак представља саставни део хеуристике *VNS*.

Пример проблема распоређивања *DRCFJS* (распоред 4 производа који се израђују у укупно 8 операција, на 3 машине са два радника) дат је на Слици 44.

		M <sub>1</sub>		M <sub>2</sub>		M <sub>3</sub>				M <sub>1</sub>		M <sub>2</sub>		M <sub>3</sub>	
		W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>			W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>
J <sub>1</sub>	O <sub>1,1</sub>	4	5	2	3	-	-	J <sub>3</sub>	O <sub>1,3</sub>	-	-	2	2	3	-
	O <sub>2,1</sub>	3	2	6	5	-	4		O <sub>2,3</sub>	3	4	5	2	6	-
J <sub>2</sub>	O <sub>1,2</sub>	-	-	3	4	-	6		O <sub>3,3</sub>	3	5	-	-	7	-
	O <sub>2,2</sub>	3	5	4	3	3	2	J <sub>4</sub>	O <sub>1,4</sub>	4	3	-	-	4	-

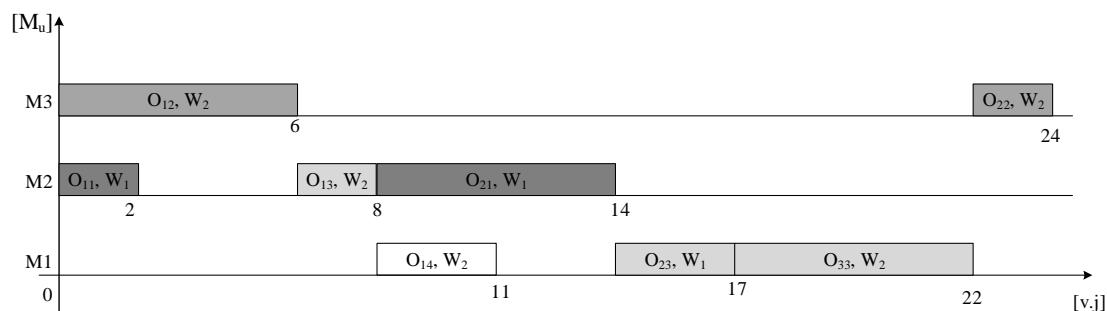
Слика 44: Пример проблема *DRCFJS*

Генерисано решење проблема *DRCFJS*, у виду распореда, се може кодирати преко два низа (Zheng, & Wang, 2016): а) Вектор редоследа операција (енгл. *Operation Sequence Vector* - *OSV*); б) Вектор додељивања ресурса (енгл. *Resource Assignment Vector* - *RAV*). Пример једног решења, полазног проблема, у облику вектора редоследа операција (*OSV*) и њему додељених ресурса машина и радника (*RAV*) је приказан на Слици 45. а решења у облику гантограма на Слици 46.

<i>OSV</i>	O <sub>11</sub>	O <sub>12</sub>	O <sub>13</sub>	O <sub>21</sub>	O <sub>23</sub>	O <sub>14</sub>	O <sub>33</sub>	O <sub>22</sub>
<i>RAV</i>	(M <sub>2</sub> , W <sub>1</sub> )	(M <sub>3</sub> , W <sub>2</sub> )	(M <sub>2</sub> , W <sub>2</sub> )	(M <sub>2</sub> , W <sub>1</sub> )	(M <sub>1</sub> , W <sub>1</sub> )	(M <sub>1</sub> , W <sub>2</sub> )	(M <sub>1</sub> , W <sub>2</sub> )	(M <sub>3</sub> , W <sub>2</sub> )

Слика 45: Вектор редоследа операција и вектор додељених ресурса

Решење распореда генерисаног на Слици 45 је представљено и у облику гантограма на Слици 46.



Слика 46: Решење проблема *DRCFJS* примера у облику гантограма

У процесу проналажења околине постојећег решења, Lei & Guo (2014) наводе четири структуре околине које се могу генерисати активностима:

1. Размена (енгл. *Swap*) – на случајан начин изабрати два елемента ( $O_{ij}, M_u, W_k$ ) и ( $O_{i'j'}, M_{u'}, W_{k'}$ ), и заменити њихова места. Уколико се добије недопустиво решење, исто кориговати на основу почетних ограничења које дефинишу редослед операција по производима. У посматраном примеру (Слика 47)

операције  $O_{31}$  и  $O_{22}$  су замениле места, па је прво добијено недопустиво решење које је накнадно кориговано;

<b>OSV</b>	$O_{11}$	$O_{12}$	<b><math>O_{22}</math></b>	$O_{21}$	$O_{23}$	$O_{14}$	$O_{33}$	<b><math>O_{13}</math></b>
<b>RAV</b>	$(M_2, W_1)$	$(M_3, W_2)$	$(M_3, W_2)$	$(M_2, W_1)$	$(M_1, W_1)$	$(M_1, W_2)$	$(M_1, W_2)$	$(M_2, W_2)$

↓

<b>OSV</b>	$O_{11}$	$O_{12}$	<b><math>O_{22}</math></b>	$O_{21}$	<b><math>O_{13}</math></b>	$O_{14}$	$O_{23}$	$O_{33}$
<b>RAV</b>	$(M_2, W_1)$	$(M_3, W_2)$	$(M_3, W_2)$	$(M_2, W_1)$	$(M_2, W_2)$	$(M_1, W_2)$	$(M_1, W_1)$	$(M_1, W_2)$

**Слика 47:** Генерисање суседног решења – активности замене

2. Убацавање (енгл. *Insert*) – на случајан начин изабрати елемент  $(O_{ij}, M_u, W_k)$  и уметнути га на нову позицију у постојећем низу (Слика 48);

<b>OSV</b>	$O_{11}$	$O_{12}$	$O_{22}$	$O_{21}$	$O_{13}$	<b><math>O_{14}</math></b>	$O_{23}$	$O_{33}$
<b>RAV</b>	$(M_2, W_1)$	$(M_3, W_2)$	$(M_3, W_2)$	$(M_2, W_1)$	$(M_2, W_2)$	$(M_1, W_2)$	$(M_1, W_1)$	$(M_1, W_2)$

↓

<b>OSV</b>	$O_{11}$	<b><math>O_{14}</math></b>	$O_{12}$	$O_{22}$	$O_{21}$	$O_{13}$	$O_{23}$	$O_{33}$
<b>RAV</b>	$(M_2, W_1)$	$(M_1, W_2)$	$(M_3, W_2)$	$(M_3, W_2)$	$(M_2, W_1)$	$(M_2, W_2)$	$(M_1, W_1)$	$(M_1, W_2)$

**Слика 48:** Генерисање суседног решења – активности убацавање

3. Додељивање (енгл. *Assign*) – на случајан начин изабрати елемент  $(O_{ij}, M_u, W_k)$ , изабрати нову машину  $M_{u'}$  и новог радника  $W_{k'}$  и доделити их операцији  $O_{ij}$  (Слика 49);

<b>OSV</b>	$O_{11}$	$O_{14}$	$O_{12}$	$O_{22}$	$O_{21}$	$O_{13}$	<b><math>O_{23}</math></b>	$O_{33}$
<b>RAV</b>	$(M_2, W_1)$	$(M_1, W_2)$	$(M_3, W_2)$	$(M_3, W_2)$	$(M_2, W_1)$	$(M_2, W_2)$	$(M_1, W_1)$	$(M_1, W_2)$

↓

<b>OSV</b>	$O_{11}$	$O_{14}$	$O_{12}$	$O_{22}$	$O_{21}$	$O_{13}$	$O_{23}$	$O_{33}$
<b>RAV</b>	$(M_2, W_1)$	$(M_1, W_2)$	$(M_3, W_2)$	$(M_3, W_2)$	$(M_2, W_1)$	$(M_2, W_2)$	$(M_2, W_2)$	$(M_1, W_2)$

**Слика 49:** Генерисање суседног решења – активност додељивање

4. Промена (енгл. *Change*) – на случајан начин изабрати елемент  $(O_{ij}, M_u, W_k)$  и нову машину  $M_{u'}$  и новог радника  $W_{k'}$ . Уколико  $M_{u'}$  може да реализује операцију  $O_{ij}$ , генерисати нови елемент  $(O_{ij}, M_{u'}, W_{k'})$ , у супротном распоредити само новог радника за  $O_{ij}$  тј.  $(O_{ij}, M_u, W_{k'})$  (Слика 50).

<i>OSV</i>	O <sub>11</sub>	O <sub>14</sub>	O <sub>12</sub>	<b>O<sub>22</sub></b>	O <sub>21</sub>	O <sub>13</sub>	O <sub>23</sub>	O <sub>33</sub>
<i>RAV</i>	(M <sub>2</sub> ,W <sub>1</sub> )	(M <sub>1</sub> ,W <sub>2</sub> )	(M <sub>3</sub> ,W <sub>2</sub> )	(M <sub>3</sub> ,W <sub>2</sub> )	(M <sub>2</sub> ,W <sub>1</sub> )	(M <sub>2</sub> ,W <sub>2</sub> )	(M <sub>1</sub> ,W <sub>1</sub> )	(M <sub>1</sub> ,W <sub>2</sub> )

↓

<i>OSV</i>	O <sub>11</sub>	O <sub>14</sub>	O <sub>12</sub>	O <sub>22</sub>	O <sub>21</sub>	O <sub>13</sub>	O <sub>23</sub>	O <sub>33</sub>
<i>RAV</i>	(M <sub>2</sub> ,W <sub>1</sub> )	(M <sub>1</sub> ,W <sub>2</sub> )	(M <sub>3</sub> ,W <sub>2</sub> )	(M <sub>3</sub> ,W <sub>1</sub> )	(M <sub>2</sub> ,W <sub>1</sub> )	(M <sub>2</sub> ,W <sub>2</sub> )	(M <sub>1</sub> ,W <sub>1</sub> )	(M <sub>1</sub> ,W <sub>2</sub> )

**Слика 50:** Генерисање суседног решења – активност промена

Реализовањем различитих активности структуре околине постојећег решења, могу се генерисати, бројни допустиви распореди, од којих ће неки бити довољно добри, са аспекта дефинисане функције циља.

Дефинисање нових хеуристичких и егзактних метода за решавање проблема распоређивања остаје стални практични и истраживачки изазов.

Прегледом метода и различитих хеуристика које се користе у процесу решавања проблема распоређивања у оперативном планирању производње, може се потврдити следећа хипотеза. **X(2.1):** *Научно окружење располаже идејама и алатима за побољшање оперативног планирања производње и управљања ресурсима.*

## **5.2. Развијеност оперативног планирања производње и управљања ресурсима**

У овом делу дисертације дефинисан је појам развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима. Осим тога, представљен је и дијагностички алат (упитник) за мерење нивоа развијености, уз утврђивање критичних области и активности у овом процесу - које је потребно унапредити, да би се повећао ниво развијености.

### **5.2.1. Дефинисање нивоа развијености оперативног планирања производње**

Методe планирања у МСП су најчешће грубе и непрецизне и заснивају се на искуству, али не и на научном приступу (*Rue & Ibrahim, 1998; Olhager & Wikner, 2000*). Аутори *Kraus, Harms, и Schwarz (2006)* тврде да методе планирања и управљања нису довољно развијене за мала и средња предузећа.

Под појмом ниво развијености оперативног планирања производње може се

подразумевати мера, у којој се приликом процеса планирања, користе софистициране, савремене и напредне методе које могу унапредити сам процес планирања, као и резултат тог процеса, односно дефинисане циљеве и планске одлуке. Примена савремених метода требало би да омогући остваривање бољих резултата управљања, као и ефикасност самог процеса.

Оправданост и важност процеса планирања се може и аргументовати. Студија (*Yusuf & Saffu, 2005*) је показала да предузећа која планирају не морају осетити и повећање перформанси, али са изузетком производног сектора. Ова студија је показала и други допринос вредан пажње, а то је чињеница да величина предузећа не ограничава перформансе планирања. Стога, планирање утиче једнако на перформансе и у великим и у малим предузећима, те и мала предузећа могу имати корист од планирања на исти начин као и велика предузећа. Иста студија (*Yusuf & Saffu, 2005*) је дала још неке значајне доприносе. Показано је да, у периодима неизвесности и у условима економских тешкоћа, очекивања су да предузећа планирају много више. Напротив, показало се да економске потешкоће не подстичу предузећа да озбиљно планирају. Други допринос студије је да ниво образовања запослених у МСП такође не утиче на ниво развијености планирања.

У докторској дисертацији (*Augustine et al., 2013*) приказује се веза између избора начина планирања од стране МСП и перформанси успешности МСП. За развијеност процеса планирања (*Augustine et al., 2013*) посматрају формализованост активности планирања: агрегатног плана, финансијског планирања, плана људских ресурса, плана производње, одржавање сигурносних капацитета, управљање залихама, коришћење метода распоређивања и одређивање редоследа, поређење циљева са перформансама, поређење остварених циљева са конкурентима, коришћење буџета. Аутори *Heck* и *Vettiger* (2014) дефинишу нека од значајних потенцијалних питања за квалитативно истраживање процеса планирања у МСП (*Heck & Vettiger, 2014*):

- Како се планирање производње извршава/реализује у оквиру предузећа?
- Који алати и информације се користе у планирању производње?
- Да ли се оптимални производни план може обезбедити, и шта га спречава да буде генерисан?
- Какав је утицај оствареног производног плана на производњу?

- Ко је одговоран за планирање производње и има ли пуна овлашћења?
- Да ли се користе *ERP* системи?
- Који делови *ERP* система се користе у планирању производње?
- Колико је комплексна интеграција *ERP* система у планирању производње?
- Који подаци представљају улаз за планирање производње?
- До које мере је планирање производње активно подржано софтверима?
- Како оперативно планирање производње изгледа и ко је у том процесу ангажован?
- Који алати и методе се примењују током планирања производње (нпр. *ERP* систем и друго)?
- Да ли су запослени упознати са неком од следећих методологија у планирању производње и распоређивању: *Just-in-Time* испоруке, *Kanban* систем распоређивања, *Lean* производња, производња оријентисана ка ограничењима?
- Како ће изгледати будућност планирања производње у посматраном предузећу?

Предлог питања који су дали (*Heck & Vettiger, 2014*) су квалитативна питања која представљају одличан увод за детаљније испитивање и покушај дефинисања мерног система за ниво развијености оперативног планирања производње.

### **5.2.2. Мерење нивоа развијености оперативног планирања производње**

Мерење нивоа развијености оперативног планирања производње се може реализовати на више начина, у овој докторској дисертацији изабран је научно-истраживачки метод испитивања, а за технику испитивања, изабран је упитник. Истраживачки узорак чинили су: власници производних предузећа, менаџери производње и операција у посматраним предузећима, као и запослени на аналитичко-планским активностима у процесу производње. Истраживачки упитник представљен је у Прилогу 2. Упитник је имао за циљ да укаже на тренутно стање развијености процеса оперативног планирања производње и управљања ресурсима у малим и средњим предузећима у Републици Србији. Такође, имао је и за циљ да укаже на потребе за унапређивањем тог процеса кроз екстерну подршку.

Развијеност система оперативног планирања која је представљена у упитнику посматра се кроз следеће димензије:

- 1) Свеобухватност процеса оперативног планирања производње и формализам у процесу планирања и изради планова;
- 2) Ниво организованости оперативног планирања производње;
- 3) Софистицираност оперативног планирања производње кроз употребу савремених метода и софтверских решења;
- 4) Интегрисаност система оперативног планирања производње;
- 5) Квалификованост запослених за оперативно планирање производње.

Прва димензија представља **свеобухватност процеса** оперативног планирања производње, са својим потпроцесима, као и **формализам** у изради планова за поједине потпроцесе и активности, истраживани су кроз Питање 9 из упитника (Прилог 2):

*За сваку од активности процеса краткорочног (оперативног) планирања производње, означити ниво на скали од 1 до 5, где је:*

- 1 - *Не постоје формално дефинисани планови производње који се односе на посматране активности процеса оперативног планирања производње;*
- 2 - *Постоје јасно и формално дефинисани оперативни планови производње који су резултат одлуке менаџера производње или/и власника компаније и засновани су на њиховом искуству;*
- 3 - *Постоје јасно и формално дефинисани оперативни планови производње који су резултат менаџерских одлука заснованих на квантитативним анализама података са тржишта и из производње;*
- 4 - *Постоје јасно и формално дефинисани оперативни планови производње који се доносе уз помоћ софтвера (ERP система);*
- 5 - *Постоје јасно и формално дефинисани оперативни планови производње који су резултат одлука менаџера заснованих на примени оптимizacionих алата (модел, методе, софтвери) или/и система за напредно планирање и распоређивање (енгл. *Advanced Planning and Scheduling*).*

Друга димензија нивоа развијености оперативног планирања производње се односила на **ниво организованости** оперативног планирања производње. (Питање 10 из упитника, Прилог 2). Било је потребно да испитаници означе ниво организованости:

Означите ниво оперативног планирања производње у предузећу у којем радите, на дефинисаној скали од 1 до 5, где је:

- 1 - Планове креира појединац, власник предузећа или менаџер/супервизор производње;
- 2 - Планове креирају производни менаџери радионице;
- 3 - Постоји групно креирање планова од стране тима оперативних руководиоца погона и запослених у производњи;
- 4 - Приликом креирања планова, доношење одлука се усаглашава са другим организационим јединицама у предузећу (маркетинг, финансије, управљање кадровима, истраживање и развој, итд.);
- 5 - Приликом креирања оперативних планова, одлуке се усаглашавају са другим учесницима у ланцу снабдевања.

Трећа димензија представља **софистицираност** процеса оперативног планирања производње која означава употребу напредних метода и техника планирања као и коришћење софтверске подршке у решавању појединих проблема (Питање 11), и представљена је путем скале којом се мери ниво упознатости са наведеним методама и софтверима. Питање је имало следећи облик:

За сваку од наведених активности процеса оперативног планирања производње које реализујете у Вашем предузећу, на скали од 1 - 5 означите ниво упознатости са наведеним методама/алатима/софтверима, који се користе за реализацију тих активности, где је:

- 1 - Нисам чуо/ла за поменути методу;
- 2 - Чуо/ла сам за поменути методу, али је не користим;
- 3 - Чуо/ла сам за поменути методу и планирам да је применим у оперативном планирању производње;
- 4 - Чуо/ла сам за поменути методу и користим је повремено у оперативном планирању производње;
- 5 - Чуо/ла сам за поменути методу и користим је често у оперативном планирању производње.

У упитнику, у оквиру овог питања 11, наведен је велики број метода.

Четврта димензија представља **интегрисаност** оперативног планирања производње. Интегрисаност система оперативног планирања производње је сагледана кроз повезаност активности и размену података унутар појединих потпроцеса, али и кроз повезаност са другим процесима планирања и управљања.



Питање 12 (упитник у Прилогу 2) је имало следећи облик:

*За сваку од наведених активности оперативног планирања производње означите ниво интегрисаности у оквиру целокупног система планирања на скали од 1 - 5, где је:*

- 1 - Активност није повезана и не постоји међусобна размена података у оквиру система планирања;*
- 2 - Активност је повезана, али се подаци размењују ручним уносом у форме и табеле;*
- 3 - Активност је повезана, подаци се размењују путем Excel-а и других програма за рад са табелама;*
- 4 - Активност је повезана, подаци се размењују путем аутоматизованог система за електронску размену података који је део система за планирање;*
- 5 - Активност је повезана, подаци се размењују путем аутоматизованог и потпуно интегрисаног система за планирање у оквиру софтвера ERP.*

Пета димензија развијености оперативног планирања производње се односила на знање и **квалификације запослених** који учествују у оперативном планирању производње (Питање 13 из Упитника, Прилог 2).

*Ваши менаџери и производни „супервизори“ или запослени који су укључени у процес оперативног планирања производње, имају следећи ниво квалификације за управљања производњом:*

- 1 - Немају формално признате квалификације;*
- 2 - Имају струковне квалификације (средња стручна спрема);*
- 3 - Имају струковне квалификације и похађали су стручне семинаре;*
- 4 - Имају високо образовање (завршен факултет);*
- 5 - Имају високо образовање (завршен факултет) и похађали су стручне семинаре.*

Поред димензија којима се мери ниво развијености, упитник је обухватио и следеће делове: **основне информације о производном предузећу** у којем је извршено анкетирање запосленог/менаџера/власника (Питања 1 до 7, из упитника у Прилогу 2). Информације које су истраживане у првом делу упитника су: функција (радно место) запосленог који је учествовао у истраживању, локација предузећа, број запослених, производна делатност предузећа, тип производног процеса у предузећу (појединачна производња, серијска производња, масовна производња), врста производног процеса према потребама купаца (производња према поруџбини, монтажа према поруџбини, производња стандардизованих производа).

Поред тога предузећа су испитана и о **најчешћим проблемима у пословању**.

Питање 8 (Упитник из Прилога 2) имало је следећи облик:

*Који су најчешћи проблеми у пословању предузећа?*

- а) Недостатак финансијских средстава и тешкоће да се до њих дође под повољним условима;*
- б) Недостатак информација о трендовима на тржишту;*
- в) Недовољно оспособљени кадрови;*
- г) Неадекватна примена информационих технологија;*
- д) Неадекватна организација производног процеса;*
- ђ) Недостатак иновирања и развоја производног програма;*
- е) Неадекватно умрежавање у кластере и удружења;*
- ж) Неадекватна наплата потраживања;*
- з) Проблеми у маркетингу, промоцији и истраживању тржишта;*
- и) Неадекватна стратегија развоја пословања;*
- ј) Неразвијен систем стандардизације и квалитета (ISO);*
- к) Комплексне процедуре за извоз.*

Такође, кроз истраживачки упитник, испитано је и **задовољство** менаџера и власника МСП са тренутним резултатима и **перформансама процеса производње**, као и са перформансама на нивоу целог предузећа (Питање 14, Упитник у Прилогу 2). Питање 14 имало је следећи облик:

*На скали од 1 до 5, означите у који мери сте задовољни следећим перформансама у процесу производње (поштовање рокова испоруке, поштовање рокова у реализацији активности производње, правовремена испорука материјала и делова у процесу производње, поштовање ограниченог радног времена радника и машина, поштовање дефинисаног плана производње, поштовање дефинисаног распореда активности производње, свеукупна организација процеса производње).*

- 1 - Веома незадовољан;*
- 2 - Незадовољан;*
- 3 - Неутрално;*
- 4 - Делимично задовољан;*
- 5 - Веома задовољан.*

У сврху истраживања подршке за оперативно планирање производње, у последњем делу истраживачког упитника испитане су **склоности менаџера или власника МСП ка екстерној подршци** у домену оперативног планирања

производње, ради унапређивања процеса оперативног планирања производње и управљања ресурсима и решавање проблема из домена ових процеса (Питања 15, 16 и 17). При томе, Питање 15 је гласило:

*„Да ли бисте имплементирали следеће приступе оперативном планирању производње (Примена правила приоритета у терминирању производње; примена метахеуристика у терминирању производње)?“*

Питање 16 је гласило: *„На скали од 1 до 5 означите у којој мери имате потребу за екстерном експертском подршком у реализацији активности оперативног планирања производње, где је:*

- 1 - Никада;
- 2 - Ретко;
- 3 - Понекад;
- 4 - Често;
- 5 - Веома често.“

Питање 17, које се односило на облик подршке, имало је следећи облик:

*„За који тип подршке бисте се определили у циљу унапређења оперативног планирања производње? (Консултантски пројекат унапређења; обука запослених; имплементација готовог софтверског пакета (ERP) или рачунарске апликације; развој софтвера или рачунарске апликације према специфичним захтевима процеса оперативног планирања производње у предузећу).“*

Повећавање нивоа развијености се може реализовати подршком у имплементацији нових метода, техника у решавању појединих проблема из оперативног планирања производње и управљања ресурсима као и имплементирање одређених софтвера који би могли помоћи у аутоматизацији процеса оперативног планирања производње. Уколико мала и средња предузећа немају могућности и интерних снага за повећање нивоа развијености оперативног планирања производње, оне могу потражити помоћ за подршку из окружења.

### **5.3. Истраживање нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП**

У овом делу докторске дисертације, кроз представљање резултата истраживања нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП Србије, указано је на потребу за подршком у овом домену. Најпре је

описана методологија истраживања и долазак до резултата (у делу 5.3.1), па онда и сами резултати истраживања (у делу 5.3.2).

### 5.3.1. Методологија истраживања

Испитивање путем упитника има за задатак да укаже на стање развијености процеса оперативног планирања производње међу предузећима у Републици Србији, као и да укаже на критичне активности и процесе у којима треба остварити повећање нивоа развијености имплементацијом нових метода. Истраживање је спроведено путем упитника, у периоду септембар 2017. – новембар 2017. године, на узорку од 79 производних предузећа у Републици Србији. Основне информације о методологији истраживања су представљене у Табели 13.

**Табела 13:** Основне информације о методологији истраживања

Методологија и начин истраживања	Опис
<b>Локација спровођења истраживања:</b>	Производна предузећа у Републици Србији
<b>Време реализације истраживања:</b>	Септембар 2017. и октобар 2017.
<b>Испитаници:</b>	Запослени у производним предузећима (један испитаник за једно предузеће)
<b>Величина узорка:</b>	79
<b>Одзив на анкету:</b>	$79/320 = 24,68\%$
<b>Истраживачка метода:</b>	Испитивање
<b>Техника испитивања:</b>	Упитник у облику анкете
<b>Начин дистрибуције истраживачког упитника:</b>	Путем електронске поште

Иницијално је упитник послат на око 320 адреса. Испитанике су чинили запослени (радници, менаџери и производни супервизори, као и власници МСП) у производном сектору предузећа из Републике Србије. Истраживачки упитник је дистрибуиран у електронском облику путем електронске поште. Одзив на анкету је био приближно 25% од укупног броја послатих захтева.

Даље су представљени резултати истраживања према групама питања из истраживачког упитника.

### 5.3.2. Резултати истраживања

У Табели 14 је представљена основна структура испитаника у истраживачком узорку. Прецизније су представљене основне информације о испитаницима и предузећима у којима су испитаници запослени, дефинисане преко категоријских варијабли и фреквенција одговора у истраживачком узорку. У посматраном узорку испитаници припадају различитим предузећима из различитих типова производних индустрија.

Прва група питања (Питања 1-8) обухватила је основне податке о предузећима која су била предмет истраживања: функција (радно место) испитаника у предузећу, локација предузећа, број запослених у предузећу, производна делатност, тип производног процеса, облик производње у предузећу, најчешћи проблеми у пословању (Табела 14). Највећи број испитаника који су попунили упитник били су менаџери, планери и инжењери у процесу производње (31,6% + 15,2% + 17,7%, укупно 64,5%). Међу групом анкетираних предузећа већи број предузећа је био лоциран ван Београда (57%). Посматрајући величину предузећа однос је био следећи: Велика предузећа (33,3%), средња (24,4%), мала (17,9%) и микро (24,4%). Делатности анкетираних предузећа су врло разноврсне и неке најчешће су представљене у Табели 14. Посматрајући тип производног процеса, појединачна производња је карактеристична за 27,8% анкетираних предузећа, а серијска и масован производња за 54,4% и 17,7%, респективно. У највећем броју случајева облик производње је био према потребама и поруџбини купаца 59%.

**Табела 14:** Структура узорка, категоријске променљиве и њихове фреквенције

Категоријске променљиве (за обим узорка N = 79)*		Број	[%]
<b>Функција (радно место) у предузећу</b>	Руководилац у производњи	36	46,2
	Запослени у производном сектору	30	38,5
	Власник предузећа	12	15,4
<b>Карактеристичне функције у предузећу</b>	Менаџер производње	25	31,6
	Инжењер у производњи	14	17,7
	Власник	12	15,2
	Планер производње	12	15,2
	Директор	8	10,1
	Остало	8	10,1
<b>Локација предузећа</b>	Остало Србија	45	57
	Београд	34	43
<b>Категорија предузећа</b>	Велико	26	33,3
	Укупно МСП	53	66,7
	Средње	19	24,4
	Мало	14	17,9
	Микро	19	24,4
<b>Производна делатност предузећа</b>	Прехрамбена индустрија	17	21,5
	Ауто-делови	13	16,5
	Грађевински материјал	7	8,9
	Производња намештаја	5	6,3
	PVC столарија	4	5,1
	Производња металних производа	3	3,8
	Апарати за домаћинство	3	3,8
	Производња пића	2	2,5
	Остало	25	31,6
<b>Тип производње</b>	Појединачна производња	22	27,8
	Серијска производња	43	54,4
	Масовна производња	14	17,7
<b>Облик производње</b>	Производња према поруџбини	39	50
	Монтажа према поруџбини	7	9
	Производња стандардизованих производа	32	41
<b>Најчешћи проблеми у пословању</b>	Недовољно оспособљени кадрови	24	30,4
	Неадекватна организација производног процеса	21	26,6
	Неадекватна наплата потраживања	20	25,3
	Неадекватна примена информационих технологија	20	25,3
	Недостатак финансијски средстава и тешкоће да се до њих дође под повољним условима	19	24,4
	Проблеми у маркетингу, промоцији и истраживању тржишта	16	20,3
	Недостатак иновирања и развоја производног програма	14	17,7
	Комплексне процедуре за извоз	11	13,9
	Неадекватно умрежавање у кластере и удружења	8	10,1
	Неадекватна стратегија развоја пословања	7	8,9
	Недостатак информација о трендовима на тржишту	4	5,1
Неразвијен систем стандардизације квалитета (ISO)	2	2,5	

\* Број испитаника који је одговорио на питања

Неки од најчешћих проблема у пословању анализираних производних предузећа били су: недовољно оспособљени кадрови (30,4%), неадекватна организација производног процеса (26,6%), неадекватна наплата потраживања (25,3%),

неадекватна примена информационих технологија (25,3%), недостатак финансијских средстава и тешкоће да се до њих дође под повољним условима (24,4%), проблеми у маркетингу, промоцији и истраживању тржишта (20,3%), недостатак иновирања и развоја производног програма (17,7%), комплексне процедуре за извоз (13,9%), неадекватно умрежавање у кластере и удружења (10,1%). Међу наведеним проблемима, примећује се да неадекватна организација процеса производње представља значајно заступљен проблем у посматраним предузећима (скоро 27%).

Структура узорка представљена је и са аспекта средњих вредности непрекидних променљивих - број запослених у предузећу (Табела 15). Просечан број запослених у посматраним предузећима је био ( $M = 226$ ), уз стандардну девијацију ( $SD = 335,7$ ).

**Табела 15:** Средње вредности непрекидних променљивих и вредности на скалама

Променљиве	Величина узорка (N)	Средња вредност (M)	Стандардна девијација (SD)
Број запослених у предузећу	78	226	335,7
<b>Свеобухватност процеса ОПП и формализам у изради планова</b>	79	3,20	1,08
Предвиђање тражње на кратак рок	77	3,09	1,33
Планирање ангажовања капацитета на кратак рок	77	3,16	1,21
Планирање оперативних потреба за сировинама и материјалима у производњи.	79	3,41	1,13
Краткорочно планирање залиха сировина и материјала у производњи.	79	3,24	1,22
Разлагање већих поруџбина на количине које треба произвести у сваком оперативном периоду.	76	3,17	1,37
Одређивање оперативних количина за производњу мимо количина одређених поруџбинама.	77	3,10	1,38
Краткорочно планирање залиха готових производа.	77	3,17	1,33
Планирање распореда производних активности по расположивим радним местима и машинама.	78	3,18	1,33
Дефинисање редоследа извршавања производних активности на машинама и радним местима	78	3,26	1,30
Израда термин плана производње (планирање почетка и завршетка производних активности)	78	3,27	1,23
Краткорочно планирање људских ресурса у производном процесу	78	3,10	1,24
<b>Ниво организованости ОПП</b>	76	3,18	1,52

Друга група питања (Питања 9-13) односила се на: **ниво развијености**

оперативног планирања производње (ОПП): Свеобухватност процеса ОПП и формализам у изради планова и организованост процеса ОПП (део 2), софистицираност процеса ОПП (део 2а), интегрисаност система ОПП (део 2б), квалификације запослених за управљање производњом (део 2в).

Најпре су представљени резултати одговора за димензије: свеобухватност процеса ОПП и формализам у изради планова, за укупну вредност и по појединачним активностима процеса оперативног планирања производње. Резултати истраживања, у виду величине узорка ( $N$ ) у одговорима средње вредности (енгл. *Mean* -  $M$ ) на скали од 1 до 5 и стандардне девијације (енгл. *Standard Deviation* -  $SD$ ) су представљени у Табели 14. Из резултата на посматраном узорку ( $N = 79$ ) примећује се да је свеобухватности процеса ОПП и формализам у изради планова на нивоу просечне вредности ( $M = 3,20$ ;  $SD = 1,08$ ): тј. да у посматраним предузећима у просеку постоје јасно и формално дефинисани оперативни планови производње који су резултат менаџерских одлука заснованих на квантитативним анализама података са тржишта и из производње. Резултати одговора формализма у изради планова за поједине активности ОПП се крећу између средње вредности  $M = 3,09$  и  $M = 3,41$  што представља просечни ниво на скали од 1 до 5.

Резултат за **ниво организованости** (Табела 15), такође је био на просечном нивоу ( $M = 3,18$ ): Постоји групно креирање планова од стране тима оперативних руководилаца погона и запослених у производњи;

У Табели 16 представљени су резултати средњих вредности за трећу димензију нивоа развијености, **софистицираност** ОПП, која се мери преко нивоа упознатости запослених у предузећу са наведеним методама и софтверима (Питање 11). Резултати истраживања су показали да је резултат софистицираност система ОПП ( $M = 2,49$ ;  $SD = 1,49$ ), на скромном нивоу испод просека и углавном осликава упознатост са конкретном методом оперативног планирања, повремену и слабу примену у пракси планирања производње, или чак без примене. На нивоу појединачних активности и потпроцеса резултати су били различити (Табела 16): Краткорочно планирање потреба за запосленима у производном процесу ( $M = 3,69$ ) и упознатост са методама намењеним планирању ангажовања капацитета ( $M = 2,55$ ) је било на просечном нивоу.



**Табела 16:** Средње вредности променљивих - софистицираност ОПП

Непрекидне променљиве	Величина узорка ( <i>N</i> )	Средња вредност ( <i>M</i> )	Стандардна девијација ( <i>SD</i> )
<b>Софистицираност ОПП</b>	78	2,49	1,05
<b>Предвиђање тражње</b>	71	1,71	0,93
Метода покретног просека	71	1,99	1,21
Експоненцијално изравнање	70	1,80	1,11
<i>Holt</i> -ова метода	70	1,46	0,81
<i>Winters</i> -ова метода	70	1,46	0,81
<b>Планирање ангажовања капацитета</b>	72	2,55	1,20
Одређивање уграђеног, расположивог и потребног капацитета	70	3,11	1,52
<i>CRP</i> (енгл. <i>Capacity Requirements Planning</i> )	69	2,57	1,48
Агрегатно планирање	68	1,65	1,16
<b>Оптимизација асортимана производње</b>	70	1,91	1,189
ЛинEARно или/и целобројно програмирање	70	1,91	1,189
<b>Планирање материјалних потреба за производњом</b>	72	2,36	1,52
Метода <i>MRP / MRP II</i>	72	2,36	1,52
<b>Краткорочно планирање залиха сировина и материјала</b>	74	2,37	1,19
<i>ABC</i> анализа	71	2,35	1,50
<i>EOQ</i> (енгл. <i>Economic Order Quantity</i> ) модел	72	2,31	1,39
<i>POQ</i> (енгл. <i>Periodic Order Quantity</i> ) модел	71	2,25	1,33
<b>Одређивање оперативних количина</b>	70	2,46	1,46
<i>EPQ</i> (енгл. <i>Economic Production Quantity</i> ) модел	70	2,46	1,46
<b>Краткорочно планирање залиха готових производа</b>	72	2,46	1,48
<i>ABC</i> анализа	72	2,46	1,48
<b>Одређивање дужине трајања оперативног периода</b>	73	2,48	1,375
Метода утврђивања времена покривености тражње залихама	73	2,48	1,375
<b>Планирање распореда производних активности по радним местима и машинама</b>	69	1,84	1,08
Методe асигнације	68	1,91	1,24
Методa значајних разлика	67	1,75	1,12
<b>Дефинисање редоследа извршавања производних активности на машинама</b>	69	2,17	0,99
Правила приоритета	74	3,15	1,49
Метахеуристике	71	2,08	1,36
<i>Work Load Control</i>	69	1,54	1,12
<i>KANBAN</i>	71	2,13	1,48
<i>ConWIP</i>	71	1,27	0,75
<b>Краткорочно планирање потреба за људским ресурсима у производном процесу</b>	74	3,69	1,39
Краткорочно одређивање потребног броја радника према обиму посла	74	3,69	1,39

Средња вредност за потпроцесе, предвиђање тражње на оперативном нивоу износи  $M = 1,71$ , што представља изузетну скромност и слабу упознатост и примену метода; Методе које се користе за оптимизацију асортимана су такође на скромном нивоу примене ( $M = 1,91$ ); Средње вредности за планирање распореда

производних активности по радним местима и машинама ( $M = 1,84$ ) и дефинисање редоследа извршавања производних активности на машинама и терминирање производње ( $M = 2,17$ ) су испод просека.

Средње вредности за остале активности и потпроцеса су на просечном нивоу: Планирање материјалних потреба у оперативном планирању производње ( $M = 2,36$ ); Краткорочно планирање залиха сировина и материјала ( $M = 2,37$ ); Одређивање оперативних количина за производњу ( $M = 2,46$ ); Краткорочно планирање залиха готових производа ( $M = 2,46$ ); Одређивање дужине трајања оперативног периода ( $M = 2,48$ ).

Поред испитивања упознатости са методама, истраживање је имало за циљ испитивање и упознатости и употребе софтверских решења (Табела 17).

**Табела 17:** Софтверска подршка активностима ОПП - истраживање

Софтверска подршка у планирању	Предвиђање тражње	Планирање капацитета	Оптимизација асортимана	Планирање материјалних потреба	Планирање залиха сировина и материјала	Одређивање оперативних количин	Планирање залиха готових производа	Одређивање дужине оперативног периода	Планирање распореда производних	Редоследа извршавања производних активности	Планирање потреба за људским ресурсима
<i>APO DP</i>	•										
<i>ERP</i>	•	•		•	•		•		•	•	
<i>Excel</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Interni softver</i>	•	•									
<i>Microsoft Navision</i>	•										
<i>SAP</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>C plan</i>	•	•									
<i>Klaes</i>	•	•		•	•						
<i>Klaes Mawi</i>				•	•	•			•	•	
<i>Microsoft Hub</i>		•			•	•	•				
<i>QlikView</i>		•									
<i>Guru</i>			•								
<i>ABSsoft</i>				•	•		•	•			
<i>Software P2</i>					•	•	•	•	•	•	•
<i>WWI analyser</i>							•	•			
<i>TiCON</i>											•

Истраживање показује да међу софтверским решењима доминира примена *SAP* и осталих *ERP* решења, уз значајнију употребу *Microsoft Excel* софтвера и његових алата (Табела 17).

Опис софтвера којим су испитана производна предузећа навела да користе (Табела 17) у активностима планирања производње и управљања ресурсима су наведена у Табели 18.

**Табела 18:** Кратак опис коришћених софтвера - истраживање

Софтвер	Линк	Опис
<i>MS Dynamics</i>	<a href="https://www.microsoft.com/en-us/dynamics365/nav-overview">https://www.microsoft.com/en-us/dynamics365/nav-overview</a>	ERP решење које интегрише све процесе и активности у један информациони систем.
<i>APO DP</i>	<a href="https://wiki.scn.sap.com/wiki/display/SCM/APO-DP">https://wiki.scn.sap.com/wiki/display/SCM/APO-DP</a>	Модул у SAP-у намењен планирању, тј. предвиђању тражње.
<i>SAP</i>	<a href="https://www.sap.com/index.html">https://www.sap.com/index.html</a>	ERP решење
<i>Klaes</i>	<a href="http://www.klaes.com/">http://www.klaes.com/</a>	Специјализовано ERP решење
<i>Klaes Mawi</i>	<a href="http://www.klaes.de/en-inventory-management.html">http://www.klaes.de/en-inventory-management.html</a>	Специјализовано решење за управљање залихама
<i>QlikView</i>	<a href="https://www.qlik.com/us/products/qlikview">https://www.qlik.com/us/products/qlikview</a>	Апликација за пословну аналитику која пружа подршку у планирању и одлучивању
<i>Guru</i>	<a href="https://www.getguru.com/solutions/sales/">https://www.getguru.com/solutions/sales/</a>	Софтверско решење намењено анализи продајних активности и резултата
<i>ABSoft</i>	<a href="http://www.absoft.rs/">http://www.absoft.rs/</a>	Домаће ERP решење за различите делатности и различите функције и процесе предузећу
<i>P2</i>	<a href="http://www.p2energysolutions.com/solutions/production/operational-intelligence">http://www.p2energysolutions.com/solutions/production/operational-intelligence</a>	Софтвер за аналитику и подршку планирања у производним процесима
<i>WWI Analyser</i>	Недоступне линк	SAP алат за анализу залиха (стање залиха, покривеност тражње залихама),
<i>TiCON</i>	<a href="http://www.mtm.org/courses/ticon">http://www.mtm.org/courses/ticon</a>	Софтвер за мерење и студију рада, подршка оперативном планирању радне снаге у производњи.

Четврта димензија нивоа развијености се односила на **интегрисаност система** ОПП (Питање 12).

Резултати мерења нивоа интегрисаности представљени у Табели 19, показују да је укупна средња вредност интегрисаности система планирања у предузећима у Србији на просечном нивоу ( $M = 3,09$ ;  $SD = 1,12$ ), на скали од 1 до 5. Прецизније, активност су у већини предузећа повезане, подаци се размењују путем *MS Excel*-а или других програма за рад са табелама. Резултати у Табели 19 су такође били представљени и по појединим активностима у оквиру процеса оперативног планирања производње.

Пета димензија нивоа развијености оперативног планирања производње се односи на **знање и квалификације запослених** који учествују у управљању

производњом и ОПП (Питање 13). Резултати истраживања (Табела 19) за ову димензију говоре да је средња вредност за квалификованост на просечном нивоу ( $M = 3,09$ ;  $SD = 1,12$ ), тј. менаџери и производни „супервизори“ или запослени који су укључени у процес оперативног планирања производње, имају струковне квалификације и похађали су стручне семинаре за управљања производњом.

**Табела 19:** Интегрисаност система планирања

Променљиве	Величина узорка ( <i>N</i> )	Средња вредност ( <i>M</i> )	Стандардна девијација ( <i>SD</i> )
<b>Укупна интегрисаност система планирања</b>	79	3,09	1,12
Предвиђање тражње на кратак рок	75	3,08	1,36
Планирање ангажовања капацитета на кратак рок	76	2,97	1,22
Планирање оперативних потреба за сировинама и материјалима у производњи	79	3,46	1,26
Краткорочно планирање залиха сировина и материјала у производњи	77	3,27	1,32
Разлагање већих поруџбина на количине које треба произвести у сваком оперативном периоду	75	3,13	1,27
Одређивање оперативних количина за производњу мимо количина одређених поруџбинама	76	2,86	1,21
Краткорочно планирање залиха готових производа	75	3,11	1,35
Планирање распореда производних активности по расположивим радним местима и машинама	75	2,97	1,26
Дефинисање редоследа извршавања производних активности на машинама и радним местима	76	2,88	1,26
Израда термин плана производње (планирање почетка и завршетка производних активности)	77	3,22	1,27
Краткорочно планирање људских ресурса у производном процесу	73	2,88	1,29
<b>Квалификације запослених</b>	79	3,09	1,12
<b>Укупан ниво развијености</b>	79	3,11	0,87

Збирни резултат на скали по свим димензијама (свеобухватност и формализам, организованост, софистицираност, интегрисаност и квалификованост запослених), у Табели 19 указује да је укупан просечни ниво развијености ОПП у анкетираним предузећима који износи на средњем нивоу на скали од 1 до 5 ( $M = 3,11$ ;  $SD = 0,87$ ).

Након првог дела упитника о општим информацијама о предузећима и другог дела који се односио на мерење нивоа развијености ОПП, трећи део упитника се односио на задовољство перформансама у процесу производње (Питање 14). Средње вредности резултата одговора на ова питања су представљене у Табели

20. Просечно задовољство перформансама је износило ( $M = 4,01$ ;  $SD = 0,77$ ) што указује на релативно високо задовољство перформансама производње. Просечне вредности резултата за појединачне перформансе су представљене у Табели 20. Испитаници, производни менаџери, планери али и власници МСП, највише су били задовољни са поштовањем рокова испоруке купцима ( $M = 4,21$ ;  $SD = 0,83$ ); а најмање задовољни са перформансом правовремена испорука материјала и делова у процесу производње ( $M = 3,86$ ;  $SD = 1,03$ );

Резултати о задовољству перформансама производње, указују на врло добро стање у тој области у анкетираним предузећима. Међутим ако се упоредо посматра и резултат који се односи на димензије нивоа развијености процес ОПП, стање у посматраним предузећима у Србији ипак није на задовољавајућем нивоу. Овакав резултат указује на проблем субјективног задовољства менаџера према такође субјективно дефинисаним циљевима којима се мери успешност процеса производње.

**Табела 20:** Задовољство перформансама производње

Променљиве	Величина узорка ( $N$ )	Средња вредност ( $M$ )	Стандардна девијација ( $SD$ )
<b>Перформансе производње</b>	78	4,01	0,77
Поштовање рокова испоруке	78	4,21	0,83
Поштовање рокова у реализацији активности производње	78	4,01	0,86
Правовремена испорука материјала и делова у процесу производње	77	3,86	1,03
Поштовање ограниченог радног времена радника и машина	76	4,08	1,11
Поштовање дефинисаног плана производње	77	4,01	0,98
Поштовање дефинисаног распореда активности производње	75	3,99	0,97
Свеукупна организација процеса производње	77	3,92	0,99

Четврти део упитника садржао је неколико питања која се тичу спремности власника или менаџера на подршку за оперативно планирање производње и управљање ресурсима. Питања су била различито дефинисана (Питања 15-17, из упитника у Прилогу 2 дисертације). У Табели 21 приказани су резултати одговора на наведена питања. Најзначајније питање се односило на укупни степен потребне подршке по појединим активностима планирања производње .

Према резултатима истраживања (Табела 21) средње вредности укупног степена потребне подршке, на скали од 1 до 5, су ( $M = 2,15$ ;  $SD = 1,07$ ). Тумачећи овај резултат, може се рећи да постоји ретка потреба за екстерном подршком. Овај резултат је такође последица субјективног мишљења производних менаџера јер се увидом у резултате нивоа развијености ( $M = 3,11$ ) може приметити да је подршка итекако потребна. Резултати за поједине активности и потпроцесе оперативног планирања производње су такође били на нивоу који указује ретку потребу за екстерном подршком у овом домену.

**Табела 21:** Потребна подршка у домену ОПП и УР

Променљиве	Величина узорка ( $N$ )	Средња вредност ( $M$ )	Стандардна девијација ( $SD$ )
<b>Укупни степен потребне подршке</b>	79	2,15	1,07
Предвиђање тражње на кратак рок.	74	2,12	1,12
Планирање ангажовања капацитета на кратак рок	79	2,08	1,24
Планирање оперативних потреба за сировинама и материјалима у производњи.	79	2,16	1,28
Разлагање већих поруџбина на количине које треба произвести у сваком конкретном оперативном периоду.	76	2,13	1,18
Дефинисање главног производног плана	79	2,19	1,34
Одређивање оперативних количина за производњу мимо количина одређених поруџбинама.	77	2,10	1,17
Краткорочно планирање залиха готових производа	78	2,15	1,19
Планирање распореда производних активности по расположивим радним местима и машинама.	78	2,26	1,31
Дефинисање редоследа извршавања производних активности на машинама и радним местима.	77	2,22	1,28
Израда термин плана производње (планирање почетка и завршетка производних активности)	79	2,19	1,29
Краткорочно планирање људских ресурса у производном процесу	77	2,16	1,24

Једно питање из ове групе се односило и на спремност за имплементацију метода (хеуристичке методе и примена правила приоритета у терминирању и оперативном планирању производње), као и на облик подршке који се жели имплементирати (Табела 22). У највећем броју случајева предузећа су спремна на имплементирање тих приступа у ОПП и УР (правила приоритета: 72% испитаних

је одговорило позитивно; 25% је одговорило позитивно). Међу понуђеним жељеним облицима подршке, испитаници у предузећима су одабрали следеће: Обука запослених и менаџмента (57,9%); Развој софтвера или рачунарске апликације према специфичним захтевима процеса ОПП у предузећу (55,3%); Консултантски пројекат (31,6%) и имплементација готовог софтверског пакета, попут *ERPa* (19,7%).

**Табела 22:** Спремност на различите облике подршке за ОПП

Категоријске променљиве (за обим узорка N = 79)*	Одговор	Број	[%]
Да ли бисте имплементирали следеће приступе у оперативном планирању производње: Примена правила приоритета у терминирању производње ?	Да	54	72,0
	Не	4	5,3
	Не знам	17	22,7
Да ли бисте имплементирали следеће приступе у оперативном планирању производње: Примена метахеуристика у терминирању производње ?	Да	18	25,0
	Не	7	9,7
	Не знам	47	65,3
Облик подршке:	Консултантски пројекат	24	31,6
	Обука запослених и менаџмента	44	57,9
	Имплементација готовог софтверског пакета ( <i>ERP</i> ) и апликације	15	19,7
	Развој софтвера или рачунарске апликације према специфичним захтевима процеса ОПП у предузећу	41	55,3

Наредни део резултата истраживања обухватио је статистичко закључивање преко поређења нивоа развијености оперативног планирања производње (по дефинисаној методологији) између МСП и великих предузећа. Пре самог поређења МСП са великим предузећима, потребно је верификовати поузданост и валидност скале која се користи за мерење нивоа развијености оперативног планирања производње. У ту сврху користи се показатељ *Cronbah's Alpha* коефицијент и средња вредност корелације између ставки на скали мерења. Резултати ових показатеља добијени су уз помоћ статистичког софтвера *IBM SPSS Statistics 22*. Ниво развијености је представљен и мерен преко следећих димензија свеобухватност и ниво формализма процеса ОПП (Питање 9), ниво организованости процеса ОПП (Питање 10), софистицираност система ОПП (Питање 11), интегрисаност система ОПП (Питање 12), квалификованости радне снаге (Питање 13).

Први начин за верификовање скале указује да вредност коефицијента *Cronbah's Alpha* износи 0,782. Критеријум поузданости скале мерења нивоа развијености је

задовољен, имајући у виду да је вредност коефицијента *Cronbah's Alpha* према аутору *DeVellis* (2011), потребно да буде већа од 0,7.

Други начин за мерење поузданости скале је уз помоћ средње вредности корелације између ставки. Према *Briggs* и *Cheek* (1986), ова вредност је потребно да буде између 0,2 и 0,4 као идеалан ниво за средњу вредност корелације ставки на скали мерења. У Табели 23 су представљене вредности корелације између пет димензија нивоа развијености оперативног планирања производње (свеобухватност, организованост, софистицираност, интегрисаност, квалификованост запослених) као и за укупну вредност нивоа развијености. Средња вредност корелације износила је: 0,429 што се може сматрати адекватним. Сви коефицијенти корелације су статистички значајни за ниво *sig.* <0,01.

**Табела 23:** Средња вредност корелације међу променљивим - ниво развијености

Променљиве:	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	( <i>L</i> )	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
( <i>L</i> ) Укупан ниво развијености	70	3,19	0,87	1					
(1) Свеобухватност процеса	70	3,24	1,09	0,73**	1				
(2) Ниво организованости	70	3,32	1,46	0,73**	0,35**	1			
(3) Укупна софистицираност	70	2,49	1,05	0,68**	0,41**	0,37**	1		
(4) Укупна интегрисаност	70	3,16	1,14	0,83**	0,62**	0,45**	0,44**	1	
(5) Квалификованост запослених	70	3,76	1,17	0,72**	0,36**	0,37**	0,36*	0,57**	1

\*\*Вредност корелације је значајна на нивоу  $p < 0,01$ .

У сврху поређења МСП са великим предузећима према нивоу развијености ОПП коришћене су статистичке технике *T*-тест и *ANOVA*. Пре саме примене *t*-теста проверене су претпоставке за примену параметарских тестова. Опште претпоставке на којима почивају параметарске технике (*Tabachnick & Fedell*, 2007) су испоштоване:

- Ниво мерења којим се одређује ниво развијености је на скали од 1-5 (које су описане у упитнику);
- Случајност узорковања је остварена приликом спровођења анонимне анкете у узорку производних предузећа;
- Опсервације су биле независне један упитник био је намењен само једном предузећу;
- Нормалност расподеле је анализирана са Колмогоров-Смирнов тестом (енгл.



*Kolmogorov-Smirnov test*). У свим анализама је добијен значајан резултат о нормалној расподели (претпоставка да расподела није нормална имала је статистичку значајност  $sig < 0,05$ ). Када су узорци довољно велики (на пример: преко 30 опсервација), кршење претпоставке о нормалности расподеле не проузрокује веће проблеме. Број опсервација у узорку је био већи од 30;

- Хомогеност варијансе – претпоставка да су узорци добијени из популација једнаких варијанси. *T*-тест који је имплементиран у софтверу *IBM SPSS 22* има могућност, приказивања теста хомогених варијанси, и додатних анализа у зависности од различитих исхода о хомогености варијансе. Претпоставка за хомогеност варијансе је испуњена за променљиве: 3) софистицираност система планирања производњом; 4) интегрисаност система планирања; 5) квалификованост запослених, а није била испуњена за променљиве: 1) свеобухватност (формализам) и 2) ниво организованости планирања. Такође, хомогеност варијансе није била испуњена ни за: 4) Укупне перформансе производе; 5) Укупни степен подршке. За променљиве за које није потврђена хомогеност варијансе, *SPSS* има могућност накнадних тестова у функцији провере разлика између група преко *t*-теста.

Резултати поређење између МСП и великих предузећа према нивоу развијености оперативног планирања производње, приказани су у Табели 24. У анализи је коришћен *t*-тест.

Према резултатима из Табеле 24, може се уочити да МСП имају нижи ниво ( $M = 2,90$ ) развијености оперативног планирања производње од великих предузећа ( $M = 3,48$ ), уз статистичку значајност (\*\*  $p < 0,01$ ) и јаку величину утицаја ( $\eta^2 = 0,125$ ). На основу овог резултата потврђена је хипотеза: **X(1.3):** *Оперативно планирање и управљање ресурсима у МСП, у пракси, није на адекватном нивоу развијености, нарочито у поређењу са великим предузећима.* Поредице остале димензије нивоа развијености добијена је статистички значајна разлика: Ниво организованости (\*\*  $p < 0,01$ ) - мала и средња предузећа имају нижи ниво организованости ОПП ( $M = 2,86$ ) од великих предузећа ( $M = 3,73$ ) уз средње јаку величину утицаја ( $\eta^2 = 0,089$ ). Интегрисаност система ОПП (\*\*  $p < 0,01$ ) - мала и средња предузећа имају нижи ниво организованости ОПП ( $M = 2,81$ ) од великих предузећа ( $M = 3,63$ ), уз

јаку величину утицаја ( $\eta^2 = 0,1204$ ). За остале димензије (свеобухватност и формализам ОПП, софистицираност, квалификованост запослених), према резултатима у Табели 24, разлика је такође видљива, али није статистички значајна ( $p > 0,05$ ). Резултати за димензију софистицираност ОПП су представљени и по појединим активностима и потпроцесима ОПП. Ту је такође било статистички значајних (\*\* $p < 0,01$ ) разлика (планирање ангажовања капацитета; планирање материјалних потреба; планирање редоследа производних активности; краткорочно планирање потреба за радницима). МСП и велика предузећа су такође међусобно упоређена и преко перформанси производњи и потреба за подршком, али разлика између средњих вредности на скали мерења такође нису биле статистички значајне.

**Табела 24:** Поређења МСП и великих предузећа - ниво развијености ОПП

Променљиве и средње вредности	Ниво развијености	
	МСП N = 52	Велика N = 26
<b>(L) Укупан ниво развијености</b>	2,90*** <sup>o</sup>	3,48*** <sup>o</sup>
<b>(1) Свеобухватност и формализам</b>	3,06	3,42
<b>(2) Ниво организованост</b>	2,86*** <sup>•</sup>	3,73*** <sup>•</sup>
<b>(3) Софистицираност</b>	2,39	2,68
(а) Предвиђање тражње	1,57	1,85
(б) Планирање ангажовања капацитета	2,15*** <sup>•</sup>	2,83*** <sup>•</sup>
(в) Оптимизација асортимана производње	1,81	2,12
(г) Планирање материјалних потреба	1,96*** <sup>o</sup>	3,12*** <sup>o</sup>
(д) Краткорочно планирање залиха сировина и материјала	2,20	2,73
(ђ) Одређивање оперативних количина за производњу	2,48	2,48
(е) Краткорочно планирање залиха готових производа	2,26	2,88
(ж) Одређивање дужине трајања оперативног периода	2,37	2,73
(з) Планирање распореда производних активности	1,79	1,89
(и) Планирање редоследа производних активности	1,83*** <sup>•</sup>	2,31*** <sup>•</sup>
(ј) Краткорочно планирање потреба за радницима	3,45*** <sup>•</sup>	4,23*** <sup>•</sup>
<b>(4) Интегрисаност система ОПП</b>	2,81*** <sup>o</sup>	3,63*** <sup>o</sup>
<b>(5) Квалификованост запослених за ОПП</b>	3,57	4,04
<b>Перформансе производње</b>	4,07	3,88
<b>Потреба за подршком</b>	2,11	2,27
<i>Stat. significance:</i>	* $p < 0,05$ ( $t$ - тест); ** $p < 0,01$ ( $t$ - тест)	
<i>Eta square:</i>	<sup>o</sup> 0,12-0,13 (јака величина утицаја);	
(Cohen, 1988, стр. 284-287)	• 0,09-0,10 (средње-јака величина утицаја); ~ 0,05-0,07 (средња величина утицаја); ~ 0,03-0,04 (слаба величина утицаја).	

Иако испитивање ставова о потребној подршци у домену ОПП и УР није показало да МСП имају израженије потребе, ипак - на основу резултата мерења нивоа

развијености ОПП (према пет димензија), може се потврдити хипотеза: **X(1.4):** *Постоји потреба МСП за подршком у области оперативног планирања и управљања ресурсима.*

У сврху поређења резултата истраживања који се односе на ниво развијености, укупне перформансе производње и укупни степен потребне подршке, спроведена је анализа уз помоћ *Pearson's* коефицијента корелације (Табеле 25 и 26). Овај резултат има за циљ да покаже везу између индикатора којима се мере укупан ниво развијености оперативног планирања производње, укупан ниво задовољства перформансама производње и укупним степеном потребне подршке.

**Табела 25:** Корелација између индикатора - ниво развијености, ниво задовољства перформансама производње и степен потребне подршка

Променљиве:	<i>Pearson's</i> коефицијент корелације		
	Ниво развијености ОПП	Ниво задовољства перформансама производње	Укупан степен потребне подршке
Укупан ниво развијености ОПП	1	0,42**	- 0,13
Укупни ниво задовољства перформансама производње	0,42**	1	- 0,60
Укупан степен потребне подршке	- 0,13	- 0,60	1
Статистичка значајност ( <i>sig.</i> )	** $p < 0,01$ ниво; * $p < 0,05$ ниво.		

По основу резултата из Табеле 25, примећује се да је ниво развијености процеса оперативног планирања производње у статистички значајној (\*\*  $p < 0,01$ ) средњој корелацији ( $\rho = 0,421$ ) са нивоом задовољства перформансама процеса производње. На основу резултата у истој табели, закључује се да је степен потребне подршке у негативној корелацији са нивоом развијености процеса ОПП, али ова вредност није била статистички значајна ( $p > 0,05$ ). У оквиру анализе коефицијената корелације, статистички значајне корелације се могу представити и детаљније по појединачним димензијама нивоа развијености (Табела 26).

**Табела 26:** Корелација између променљивих - појединачне димензије нивоа развијености, ниво задовољства перформансама производње и степен потребне подршке

Променљиве:	Pearson's коефицијент корелације	
	Ниво задовољства перформансама производње	Укупан степен потребне подршке
(1) Свеобухватност процеса	0,42**	- 0,14
(2) Укупна организованост	0,22	- 0,04
(3) Укупна софистицираност	0,27*	- 0,02
(4) Укупна интегрисаност	0,36**	- 0,16
(5) Укупна квалификованост	0,35**	-0,13
Статистичка значајност (sig.)	** $p < 0,01$ ниво; * $p < 0,05$ ниво	

Укупно задовољство перформансама у производњи је у позитивној корелацији са следећим димензијама нивоа развијености (свеобухватност процеса, софистицираност процеса, интегрисаност процеса, квалификованост). У том смислу предузећа која имају виши ниво развијености по наведеним димензијама имају такође и виши ниво задовољства перформансама производње.

Да би се још додатно испитала разлика у нивоу развијености МСП, мала и средња предузећа су посматрана одвојено. Разлог томе је велика разлика у броју запослених, укупном промету и вредности имовине (активе) малих и средњих предузећа, а сходно томе и комплексности организације процеса производње. Извршено је поређење методом анализа варијансе (ANOVA) да би се утврдило да ли постоји статистички значајна разлика између ових група предузећа (Табела 27).

**Табела 27:** Поређење МСП и великих предузећа - ниво развијености ОПП

Променљиве:	Мала предузећа N = 33	Средња предузећа N = 19	Велика предузећа N = 26
<b>Укупан ниво развијености ОПП</b>	2,63**°	3,39**°	3,49**°
Свеобухватност и формализам	2,90	3,33	3,42
Укупна организованост	2,37**°	3,63**°	3,73**°
Укупна софистицираност	2,15*•	2,79*•	2,68*•
Укупна интегрисаност	2,54**°	3,28**°	3,63**°
Укупна квалификованост	3,32*•	3,95*•	4,04*•
<b>Укупне перформансе производње</b>	4,07	4,07	3,88
<b>Укупан степен потребне подршке</b>	2,33	1,72	2,27
Статистичка значајност (sig.)	** $p < 0,01$ ниво; * $p < 0,05$ ниво		
$\eta^2$ (Cohen, 1988, ° 0,12-0,13 (јака величина утицаја); • 0,09-0,10 (средње-јака величина утицаја); ~ стр. 284-287) 0,05-0,07 (средња величина утицаја); ~ 0,03-0,04 (слаба величина утицаја).			

Поред услова који су потребни да буду испуњени (претходно су наведени код  $t$ -теста), код  $ANOVA$  је још неопходно да буде потврђена претпоставка о хомогености варијансе. Ова претпоставка се проверава преко Левенеовог теста (енгл. *Levene Statistics*) хомогености варијансе група које се пореде. Имајући у виду да је у посматраном истраживању вредност Левенеовог теста  $W(2;75) = 2,721$  са статистичком значајношћу  $sig. = 0,072$ , која је већа од 0,05, може се закључити да је потврђена претпоставка о хомогености варијансе: (Pallant, 2011, стр. 253).

За анализу укупног новог развијености добијен је статистички значајан резултат за ове три посматране групе предузећа. Прецизније на основу накнадних поређења помоћу теста *Tukey HSD* (енгл. *Honest Significant Difference*) (Pallant, 2011, стр. 253) уочена је статистичка значајност разлике средњих вредности између малих и средњих предузећа, и малих и великих предузећа. Прорачун величине утицаја (енгл. *Effective Size*) показатеља *Eta kvadrat* се добија на основу формуле (Pallant, 2011, стр. 254):

$$\eta^2 = \text{Eta kvadrat} = \frac{\text{збир квадрата одступања између различитих група}}{\text{укупан збир квадрата одступања}}$$

Анализом варијансе извршено је поређење нивоа развијености ОПШ према величини предузећа (мала, средња и велика предузећа). Утврђена је статистички значајна разлика, на нивоу  $p < 0,01$  између ове три групе предузећа:  $F(2;75) = 10,583$ ,  $p = 0,0001$ , *Partial Eta Squared* = 0,22 (представља јаку величину утицаја); Поред тога, уз помоћ Тукејевог *HSD* теста (Pallant, 2011, стр. 253) анализирана је разлика између средњих вредности појединих група предузећа: Мала предузеће ( $M = 2,63$ ;  $SD = 0,878$ ) се значајно разликују ( $sig. < 0,01$ ) од средњих предузећа ( $M = 3,39$ ;  $SD = 0,817$ ); Мала предузеће ( $M = 2,63$ ;  $SD = 0,878$ ;) се значајно разликују ( $sig. < 0,01$ ) од великих предузећа ( $M = 3,48$ ;  $SD = 0,876$ ). Али се средња предузећа ( $M = 3,39$ ;  $SD = 0,817$ ), не разликују статистички значајно ( $sig. > 0,05$ ) од великих предузећа ( $M = 3,48$ ;  $SD = 0,876$ ).

У случају поређења ових група предузећа (мало предузеће, средње предузеће, велико предузеће) према укупном задовољству перформансама производње, није добијен статистички значајан резултат ( $sig. > 0,05$ ), те се може се закључити да је ниво задовољства перформансама производње уједначен међу посматраним групама предузећа.

Код поређења ових група предузећа (мало предузеће, средње предузеће, велико предузеће) према укупном степену потребне подршке, није добијен статистички значајан резултат ( $sig. = 0,11 > 0,05$ ). Иако мала предузећа ( $M = 2,22; SD = 1,11$ ) због неразвијености и велика предузећа ( $M = 2,27; SD = 0,76$ ), због комплексности указују на већи степен потребне подршке, у односу на предузећа средње величине ( $M = 1,71; SD = 1,15$ ).

Даље је извршено поређење малих, средњих и великих предузећа, према **свеобухватности и формализованости** процеса оперативног планирања производње. Такође, и у овој анализи није добијен статистички значајан резултат ( $sig. = 0,147 > 0,05$ ). Иако мала предузећа, показују нижу средњу вредност за свеобухватност и формализам ( $M = 2,91; SD = 1,15$ ) од средњих ( $M = 3,33; SD = 1,14$ ) и великих предузећа ( $M = 3,42; SD = 0,871$ ). Међутим разлика у средњим вредностима на скали мерења није била довољно велика да би се сматрала статистички значајном на посматраном узорку

Приликом поређења ових група (мало предузеће, средње предузеће, велико предузеће) према **нивоу организованости** ОПП добијен је статистички значајан резултат ( $sig. = 0,001 < 0,05$ ). Он се добија преко Левенеовог теста хомогености варијансе група које се пореде  $W(2;72) = 7,300$ , са статистичком значајношћу  $sig. = 0,001 < 0,05$  па је потребно проверити робусни тест једнакости средњих вредности. Вредност овог показатеља је  $F(2; 69,53) = 8,963$ ,  $sig. = 0,0001 < 0,05$ . Дакле, утврђена је статистички значајна разлика, на нивоу  $p < 0,01$  између ове три групе предузећа:  $F(2;72) = 8,208$ ,  $p = 0,001$ ,  $partial\ eta\ squared = 0,083$  (представља велики утицај); Поред тога, уз помоћ Тукејевог теста анализирана је разлика међу средњим вредностима појединих група: Мала предузећа ( $M = 2,37; SD = 1,67$ ) се значајно разликују ( $sig. < 0,01$ ) од средњих предузећа ( $M = 3,63; SD = 1,12$ ). Мала предузећа ( $M = 2,37; SD = 1,67$ ) се значајно разликују ( $sig. < 0,01$ ) од великих предузећа ( $M = 3,73; SD = 1,18$ ). Међутим, средња предузећа се не разликују ( $M = 3,63; SD = 1,12; sig. > 0,05$ ) од великих предузећа ( $M = 3,73; SD = 1,18$ ), тј. разлика у њиховим средњим вредносима није довољно велика да би се сматрала статистички значајном на посматраном узорку.

Посматрајући **софистицираност** у примени метода у ОПП, преко анализе

варијансе (*ANOVA*), у случају поређења истих група (мала средња и велика) добијен је статистички значајан резултат ( $sig. = 0,05$ ). Испитан је Левенеов теста хомогености варијансе група које се пореде  $W(2;74) = 8,020, sig.= 0,001, < 0,05$ ), па је потребно проверити робусни тест једнакости средњих вредности. Вредност овог показатеља је  $F(2;38,707) = 2,639$  ( $sig.= 0,084 > 0,05$ ). Утврђена је статистички значајна разлика, на нивоу  $p < 0,05$  између ове три групе предузећа:  $F(2;74) = 3,097, p = 0,05, partial eta squared = 0,228$  (представља средњу величину утицаја); Поред тога, уз помоћ Тукејевог теста анализирана је разлика између средњих вредности појединих група: Микро и мала предузећа ( $M = 2,15; SD = 0,86$ ) су показала значајне разлике ( $sig.< 0,05$ ) од средњих предузећа ( $M = 2,79; SD = 1,43$ ) као и од великих предузећа ( $M = 2,68; SD = 0,76$ ). Разлика између средњих и великих предузећа није била статистички значајна ( $sig. > 0,05$ ).

Посматрајући димензију **интегрисаности** ОПП, применом методе *ANOVA* у случају поређења истих група (мала, средња и велика предузећа) према нивоу интегрисаности и размене података у процесу ОПП добијен је статистички значајан резултат ( $p = 0,0004$ ). Резултат је добијен преко Левенеовог теста хомогености варијансе група које се пореде  $W(2;74) = 1,658, sig.= 0,197 > 0,05$  где није прекршена претпоставка о хомогености варијансе средњих вредности

Утврђена је статистички значајна разлика, на нивоу  $p < 0,01$  између ове три групе предузећа:  $F(2;75) = 8,681, p = 0,0004, partial eta squared = 0,231$  (представља јаку величину утицаја); Поред тога, уз помоћ Тукејевог теста анализирана је разлика међу средњим вредностима појединих група: Мала предузећа ( $M = 2,54; SD = 1,20$ ) се значајно разликују ( $sig.<0,05$ ) од средњих предузећа ( $M = 3,28; SD = 0,84$ ); Мала предузећа ( $M = 2,54; SD = 1,20$ ) се значајно разликују ( $sig.< 0,01$ ) од великих предузећа ( $M = 3,63; SD = 0,89$ ). Разлика између средњих и великих предузећа није статистички значајна ( $sig. > 0,05$ ).

Посматрајући димензију **квалификованост** запослених за ОПП, упоређене су средње вредности за посматране три групе предузећа (мала, средња, и велика предузећа) уз примену методе *ANOVA*. Разлика у средњим вредностима између група је била статистички значајна ( $p = 0,05$ ). Испитан је Левенеов тест хомогености варијансе група које се пореде  $W(2;69) = 5,208, sig.= 0,008 < 0,05$ ), па

је потребно проверити робусни тест једнакости средњих вредности (Pallant, 2011, стр. 253). *Brown-Forsythe Statistic* тест у SPSS софтверу:  $F(2;67,203) = 3,416$ ;  $sig.= 0,039 < 0,05$ ). Показује статистички значајну разлику, на нивоу  $p < 0,05$  између ове три групе предузећа.

Утврђена је статистички значајна разлика, на нивоу  $p < 0,05$  између ове три групе предузећа:  $F(2;71) = 3,125$ ,  $p = 0,05$ , *partial eta squared* = 0,0906 (представља средње јаку величину утицаја);

Поред тога, уз помоћ Тукејевог теста анализирана је разлика међу средњим вредностима појединих група: Мала предузећа ( $M = 3,32$ ;  $SD = 1,31$ ) се статистички значајно не разликују ( $sig. > 0,05$ ) од средњих предузећа ( $M = 3,95$ ;  $SD = 0,78$ ); Мала предузећа ( $M = 3,32$ ;  $SD = 1,31$ ) се значајно не разликују ( $sig.>0,05$ ) ни од великих предузећа ( $M = 4,04$ ;  $SD = 1,14$ ). Разлика између средњих ( $M = 3,95$ ;  $SD = 0,78$ ) и великих предузећа ( $M = 4,04$ ;  $SD = 1,14$ ) такође није била статистички значајна ( $sig. > 0,05$ ).

На основу претходно приказаних резултата истраживања (Табела 24) може се закључити да је потврђена хипотеза: **X(1.3):** *Оперативно планирање и управљање ресурсима у МСП, у пракси, није на адекватном нивоу развијености.*

Иако се претходно приказаним резултатима о потребној подршци приказују низак ниво потребне подршке коју су испитаници навели, резултати истраживања који се односе на мерење нивоа развијености ОПП (према димензијама: свеобухватности и формализам, организованост, софистицираност, интегрисаност и квалификованост) потврђују предложену хипотезу **X(1.4):** *Постоји потреба МСП за подршком у области оперативног планирања и управљања ресурсима.*



## **5.4. Анализа могућности за унапређивање подршке оперативном планирању производње - преглед и анализа литературе из истраживаних области**

У овом делу докторске дисертације извршен је преглед и систематизација научне и стручне литературе, ради увида у постојећа и актуелна знања о проблемима из домена оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП. Систематски преглед до сада објављених истраживања у проучаваним областима треба да пружи могућност за критички осврт на анализирани приступе и релевантна решења посматраних проблема, као и предлог начина њиховог унапређивања. Такође, представљена је и методологија која је коришћена у прегледу литературе. Детаљније је описан начин прикупљања радова и њихова селекција, анализа резултата претраге, прикупљања и селекције радова, кроз статистике податке тј. квантитативну и квалитативну анализу.

### **5.4.1. Методологија коришћена у прегледу литературе**

Ради обезбеђивања темељитости и објективности у претрази литературе, спроведен је систематичан метод у прегледу и анализи литературе. Претрага радова је била ограничена на радове из међународних часописа које су референцирани у еминентним базама научних радова. Радови са конференција су искључени из анализе, због немогућности провере квалитета објављених истраживања у радовима ове врсте. Књиге и докторске дисертације су такође искључене из анализе, пре свега због њихове обимности и због чињенице да се књиге најчешће заснивају на већ публикованим и утемељеним теоријама, студијама и истраживањима. Такође, истраживања из докторских дисертација су најчешће, у деловима, публикована у научним радовима. Систематичан метод прегледа литературе у овој докторској дисертацији, примењен је према ауторима (*Thomé, Scavarda, & Scavarda, 2016*), и уз одређене модификације се састојао се из неколико фаза:

- 1) Дефинисање теме од интереса за истраживање** – у овој фази се, за потребе претраживања, дефинишу кључне речи и појмови од интереса за тематику докторске дисертације;
- 2) Избор библиографске базе за претраживање** – ова фаза обухватила је

селекцију базе научних-истраживачких радова тј. базе научних часописа;

- 3) **Претрага радова** – претраживање радова из научних база релевантних по кључним речима и појмовима, језику писања и години објављивања;
- 4) **Селекција радова** – генерисањем резултата претраживања извршен је преглед радова и њихова селекција на основу наслова рада, прегледа апстракта и целокупног садржаја рада.
- 5) **Анализа селектованих радова** - подразумева квантитативну и квалитативну анализу селектованих радова. Квантитативна анализа обухвата анализу према: темама од интереса, години објављивања, методологији истраживања, научним часописима. У квалитативној анализи селектованих радова сваки научни рад се представља преко табеле са подацима о аутору, називу рада, теми истраживања, проблему истраживања, методологији истраживања и најважнијим параметрима модела проблема чије решење је истраживано (посматрани проблем, критеријум вредновања решења, метода решавања).

#### 5.4.2. Претраживање радова

За потребе прегледа литературе, према теми докторске дисертације и на основу теоријске поставке, дефинисане су следеће кључне речи од истраживачког интереса: Планирање производње у МСП (енгл. *Production Planning in SME*), производни ресурси МСП (енгл. *Production/Manufacturing Resources in SME*), подршка малим и средњим предузећима (енгл. *Support for SMEs*), *Job Shop* проблем распоређивања.

Претраживани су научни радови искључиво на српском и енглеском језику, објављени у референтним часописима. Као извори научних радова за претрагу, селекцију и прикупљање коришћене су следеће библиографске базе:

- *Web of Science*<sup>®</sup>, издавач: *Thomson Reuters Scientific Inc*;
- *SCOPUS*<sup>®</sup>, издавач: *Elsevier*;
- *Science Direct*<sup>®</sup>, издавач: *Elsevier*;
- *Google scholar*, издавач: *Google Inc*;
- Српски цитирани индекс, издавач: Центар за евалуацију у образовање и науци.

Приликом претраге радова дефинисана је и временска одредница за претрагу

публикованих радова. За кључне речи: Производни ресурси МСП; Планирање производње МСП; Подршка МСП. Претрага по овим радовима је извршена за посматрани период између 1997 до 2017. За кључну реч *Job Shop* проблем, због великог броја радова који се публикује сваке године, посматран је много краћи опсег задњих десет година (2007-2017).

#### **5.4.3. Селекција радова**

На основу генерисаних резултата претраге, извршена је селекција радова. Селекција радова је извршена на основу неколико начина и према припадности тематици која се обрађује у овој докторској дисертацији. Прихваћени су релевантни радови за тему која се обрађује у докторској дисертацији. Начин селекције је обухватио увид у наслов рада, кључне речи рада, апстракт рада и закључак рада. Радови код којих је постојала недоумица на основу прегледа су прегледани у целини. Приказ селектованих радова дат је у Табелама 33-36.

#### **5.4.4. Анализа селектованих радова**

Анализом прикупљених радова извршена је екстракција свих релевантних података који су касније коришћени за квалитативну и квантитативну анализу:

- Аутор рада;
- Тема научног рад;
- Година објављивања;
- Назив часописа;
- Методологија коришћена у раду и начин истраживања: преглед литературе, теоријско истраживање, емпиријско истраживање, математичко моделовање и решавање, симулација;
- Предмет истраживања;
- Основни елементи моделовања (критеријуми, управљачке променљиве и основни параметри модела, методе решавања, статистичке анализе).

Представљени атрибути научних радова су даље анализирани, квантитативно и квалитативно.

#### 5.4.5. Квантитативна анализа селектованих радова

Квантитативна анализа литературе обухватила је нумеричке анализе за следеће атрибуте: укупан број генерисаних резултата претраге у библиографским базама према кључним речима; укупан број селектованих радова; укупан број селектованих радова по посматраним часописима од истраживачког значаја; врста методологије истраживања у селектованим радовима; број селектованих радова према временској димензији (тј. години објављивања).

Прво су представљени нумерички резултати претраге у посматраним истраживачким базама за дефинисане кључне речи. Међу посматраним резултатима по појединим базама научно-истраживачких радова (Табела 28), примећује се да су радови на српском језику (истраживачка база *Српски цитирани индекс*) по посматраним кључним речима веома слабо заступљени, а за поједине кључне речи уопште нису заступљени. Остале индексне и научно-истраживачке базе радова имају радове на енглеском језику.

Међу кључним речима, доминантну групу, по генерисаним резултатима, свакако представља термин *Job Shop*, тј. проблем распоређивања у производњи малог обима. Већина радова који су публиковани из ове области, дају значајне могућности менаџерима за примену резултата у практичне сврхе. Са друге стране, велики број истраживања представља тежак задатак будућим истраживачима, у циљу откривања новог у датој области.

**Табела 28:** Укупан број генерисаних резултата претраге по кључним речима

Библиографска база	Производни ресурси МСП	Планирање производње МСП	Подршка МСП	Проблем <i>Job Shop</i>
<i>Web of Science</i>	50	48	105	2.659
<i>SCOPUS</i> <sup>©</sup>	100	95	188	3.361
<i>Science Direct</i> <sup>©</sup>	47	54	104	1.760
<i>Google scholar</i>	686	676	171	3.800
<i>Српски цитирани индекс</i>	0	0	9	2

Неопходно је напоменути да генерисани резултати по појединим библиографским базама не треба кумулативно посматрати, јер су резултати претраге у великој мери преклапају. Иако је иницијално генерисан огроман број резултата претраге, већина генерисаних радова није имала задате кључне речи у наслову и апстракт,у,

због тога је велики број радова одбачен а селектовани су само одређени који ће касније бити представљени. Подаци у Табели 28 имају улогу приказивања појединих база научно-истраживачких радова као значајног извора научне грађе.

У Табели 29 представљен је број селектованих радова према критеријуму теме научног рада. На основу представљених квантитативних података може се закључити да селектовани радови на тему проблема *Job Shop* доминирају.

**Табела 29:** Квантитативни подаци селектованих радова – тема научног рада

Тема научног рада	Укупан број селектованих радова
Производни ресурси у МСП:	8
Подршка МСП:	14
Планирање производње у МСП:	19
Проблем <i>Job Shop</i> :	66
Укупно:	107

Збирни подаци за селектоване радове према појединим називима научно-истраживачких часописа представљени су у Табели 30.

**Табела 30:** Квантитативни подаци селектованих радова - назив часописа

Назив часописа	Број селектованих радова	
	[1]	[%]
<i>Computers &amp; Industrial Engineering</i>	12	11,1
<i>International Journal of Production Research</i>	11	10,2
<i>International Journal of Production Economics</i>	9	8,3
<i>Expert Systems with Applications</i>	6	5,3
<i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>	7	6,5
<i>Production Planning &amp; Control</i>	7	6,5
<i>Computers &amp; Operations Research</i>	6	5,6
<i>International Small Business Journal</i>	4	3,7
<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>	3	2,8
<i>International Journal of Operations &amp; Production Management</i>	3	2,8
<i>Journal of Small Business and Enterprise Development</i>	3	2,8
<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>	3	2,8
Остали са мање од 3 појављивања	34	31,5
Укупно:	107	100

Циљ ове анализе је да покаже најрелевантније часописе за тематику истраживања у овој докторској дисертацији. Часописи који су од посебног значаја за предметну област истраживања су: *Computers & Industrial Engineering*, *International Journal of Production Research*, *International Journal of Production Economics*, *Expert*

*Systems with Applications, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Production Planning & Control, Computers & Operations Research, International Small Business Journal.*

Даље се, у Табели 31, представља анализа селектованих радова према примењеној научно-истраживачкој методологији.

**Табела 31:** Квантитативни подаци селектованих радова - методологија

Методологија и начин истраживања	Број селектованих радова	
	[1]	[%]
Преглед литературе	8	7,1
Теоријско истраживање	6	5,4
Емпиријско истраживање	32	28,6
Математичко моделовање и решавање	9	8,0
Симулација	2	1,8
Хеуристички приступ решавању	55	49,1
Укупно:	112	100

Доминантну категорију чине радови који се баве метахеуристикама (што се тиче проблема *Job Shop*), као и емпиријско истраживање (испитивање кроз анкету, интервју и студије случаја) које доминира код научно-истраживачких радова који се односе на теме: производни ресурси МСП, планирање производње МСП, подршка МСП.

Табела 32 даје приказ броја селектованих радова према временским димензијама публикавања.

**Табела 32:** Квантитативни подаци селектованих радова - година публикавања

Година публикавања радова	Број селектованих радова	
	[1]	[%]
1997-2001	4	3,7
2002-2006	11	10,3
2007-2011	38	35,5
2012-2017	54	50,5
Укупно:	107	100

Примећује се да је међу селектованим радовима најзаступљенија категорија оних који су у групи „старости“ мање од 5 година. Иначе, међу селектованим и прегледаним радовима, постоје и пет радова која су објављени у 2017. години и једанаест радова који су објављени у 2016. године, што говори о актуелности

изучаваних тема које се обрађују у овој докторској дисертацији.

Даље је представљена квалитативна анализа селектованих и прегледаних радова по истраживачким темама од интереса (тј. кључним речима).

#### **5.4.6. Квалитативна анализа селектованих радова**

Квалитативна анализа селектованих радова, по појединим темама од истраживачког интереса, обухватила је детаљан опис према следећим подацима: Аутор рада, научни часопис, тема и предмет истраживања, коришћена методологија у истраживању, основни елементи и параметри модела, и метода решавања (за поједине истраживачке теме, у методологији истраживања кроз анкету, интервју и студију случаја, карактеристике методе решавања су изостављене). Резултати квалитативне анализе су представљени у Табелама 33-36.

У Табели 33 представљена је квалитативна анализа селектованих радова за тему производни ресурси у малим и средњим предузећима. У Табели 34 представљена је квалитативна анализа селектованих радова на тему подршка малим и средњим предузећима. У Табели 35 представљена је квалитативна анализа селектованих радова на тему планирање производње у МСП. У Табели 36 представљена је квалитативна анализа селектованих радова на тему *Job Shop* проблем распоређивања.

**Табела 33:** Квалитативна анализа селектованих радова – производни ресурси МСП

№ <sup>о</sup>	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела
1	<i>Koh &amp; Simpson, (2005)</i>	<i>Journal of Manuf. Technology Management</i>	Како <i>ERP</i> системи могу створити конкурентску предност за МСП	Теоријско истраживање и емпиријско истраживање – анкетно испитивање	<i>ANOVA</i> <sup>15</sup>
2	<i>Deep et al., (2008)</i>	<i>Journal of Manuf. Technology Management</i>	Фактори од утицаја на избор <i>ERP</i> решења у МСП, <i>МТО</i> сектору	Теоријско истраживање и емпиријско истраживање - студија случаја	Патерни тражње за производима, време реализације, модели поручивања, дефинисане радне процедуре
3	<i>Muscatello, Small, &amp; Chen, (2008)</i>	<i>Int. J. of Operations &amp; Production Management</i>	Истраживање процеса имплементације <i>ERP</i> у МСП	Емпиријско истраживање - студија случаја	Годишња продаја, обрт залиха, стопа правовремених испорука, трошкови <i>ERP</i> имплементације, очекивана фин. корист
4	<i>Johansson &amp; Sudzina, (2008)</i>	<i>Journal of Enterprise Inform. Management</i>	Разлози примене <i>Open Source ERP</i> решења у МСП	Теоријски истраживање	-
5	<i>Powell, Riezebos, &amp; Strandhagen, (2013)</i>	<i>Int. J. of Production Research</i>	Истраживање утицаја <i>ERP</i> система на <i>Lean</i> концепт у производњи МСП	Емпиријско истраживање - студија случаја	-
6	<i>Teittinen, Pellinen, &amp; Järvenpää, (2013)</i>	<i>Int. J. of Accounting Inform. Systems</i>	Користи, изазови и проблеми за управљачки процес, након имплементације <i>ERP</i> у МСП	Емпиријско истраживање – испитивање кроз интервју	-
7	<i>Antoniadis et al., (2015)</i>	<i>Procedia - Social and Behavioral Sciences</i>	Примена <i>ERP</i> система у МСП, критични фактори	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	<i>Kruskal-Wallis H</i> тест <sup>16</sup>
8	<i>Selcuk Kilic et al., (2015)</i>	<i>Expert Systems with Applications</i>	Избор <i>ERP</i> за МСП, примена метода <i>ANP</i> и <i>PROMETHEE</i>	Моделирање	Пословни, технички и трошковни критеријуми

<sup>15</sup> Анализа варијансе.

<sup>16</sup> Непараметарска алтернатива једнофакторској анализи варијансе.



**Табела 34:** Квалитативна анализа литературе – подршка МСП

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела
1	<i>Bennett &amp; Robson, (1999)</i>	<i>Entrepreneurship &amp; Regional Development</i>	Утицај екстерне подршке на МСП	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	<i>Mann-Whitney U</i> тест <sup>17</sup> <i>Kruskal-Wallis H</i> тест
2	<i>Schwartz &amp; Bar-El, (2004)</i>	<i>Int. Small Business Journal</i>	Истраживање скривене тражње за подршком међу МСП	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	Дескриптивна статистика, <i>T-test</i> <sup>18</sup> ,
3	<i>Boter &amp; Lundström, (2005)</i>	<i>Journal of Small Business and Enterprise Development</i>	Како МСП прихватају екстерну пословну подршку	Емпиријско истраживање – испитивање кроз интервју	Мултиваријациона анализа
4	<i>Ramsden &amp; Bennett, (2005)</i>	<i>Journal of Small Business and Enterprise Development</i>	Користи од екстерне подршке МСП	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	Дескриптивна статистика
5	<i>Berry, Sweeting, &amp; Goto, (2006)</i>	<i>Journal of Small Business and Enterprise Development</i>	Ефекат пословне подршке из маркетинга на стопу раста МСП	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	Дескриптивна статистика
6	<i>Audet &amp; St-Jean, (2007)</i>	<i>Journal of Developmental Entrepreneurship</i>	Фактори од утицаја на коришћење подршке МСП	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	Логаритамска регресиона анализа
7	<i>Johnson et al., (2007)</i>	<i>Environment and Planning A</i>	Фактори од утицаја на склоност коришћења пословне подршке	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	Регресиона анализа
8	<i>Mole, Hart, Roper, &amp; Saal, (2009)</i>	<i>Int. Small Business Journal</i>	Ефективност услуга пословне подршке (пораст продаје и запослених)	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	$\chi^2$ test <sup>19</sup>
9	<i>Sousa &amp; Bradley, (2009)</i>	<i>Int. Small Business Journal</i>	Утицај програма за подршку извозу и подршке дистрибутера на извозне перформансе МСП	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	Факторска анализа

<sup>17</sup> Непараметарска алтернатива за *T-test*.

<sup>18</sup> Статистички поступак, заснован на студентовој *t*-расподели, који се односи на тестирање статистичке значајности разлике између две аритметичке средине.

<sup>19</sup> Тест испитивања независности две варијабле.

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела
10	<i>Cumming &amp; Fischer, (2012)</i>	<i>Research Policy</i>	Утицај јавно финансираних саветодавних услуга подршке на перформансе пословних подухвата	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	Регресиона анализа
11	<i>Lin, Nagalingam, Kuik, &amp; Murata, (2012)</i>	<i>Int. J. of Production Economics</i>	Систем за подршку одлучивању у колаборативној производњи МСП	Концептуални приказ Емпиријско истраживање - студија случаја Моделирање	-
12	<i>Sousa &amp; Novello, (2012)</i>	<i>Int. Small Business Journal</i>	Утицај подршке дистрибутера на извозне перформансе МСП	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	Факторска анализа
13	<i>Huang, Li, Yin, &amp; Zhao, (2013)</i>	<i>Int. J. of Advanced Manufacturing Technology</i>	<i>Cloud</i> платформа за подршку активностима производње МСП	Развој <i>online</i> апликације	-
14	<i>Rakićević et al., (2016a)</i>	<i>Evaluation and Program Planning</i>	Концептуални модел планирања усаглашене подршке МСП	Емпиријско истраживање – секундарни подаци из база	Концептуални модел, <i>t</i> -тест, коеф. корелације

**Табела 35:** Квалитативна анализа литературе – планирање производње у МСП

№ <sup>о</sup>	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела
1	<i>Hendry, Kingsman, &amp; Cheung, (1998)</i>	<i>Journal of Operations Management</i>	Утицај контроле оптерећења на перформансе производње у МТО компанијама	Емпиријско истраживање - симулација	Време реализације производње
2	<i>Mezgár, Kovács, &amp; Paganelli, (2000)</i>	<i>Int. J. of Production Economics</i>	Информациони модел за размену података у заједничком планирању производње МСП	Моделирање	Концептуални модел у виду дијаграма информационих токова
3	<i>Muda &amp; Hendry, (2003)</i>	<i>Int. J. Operations &amp; Production Management</i>	Концептуални модел за унапређивање перформанси процеса производње МСП	Емпиријско истраживање - студија случаја и теоријско истраживање	-
4	<i>Henrich, Land, &amp; Gaalman, (2004)</i>	<i>Int. J. of Production Economics</i>	Применљивост концепта контроле оптерећења у МСП	Теоријско истраживање	-
5	<i>Persona et al., (2004)</i>	<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>	Потребе и смернице за интегрисаним моделом планирања производње у МСП	Емпиријско истраживање - студија случаја и теоријско истраживање	Концептуални и хијерархијски модел
6	<i>Stevenson et al., (2005)</i>	<i>Int. J. of Production Research</i>	Преглед класичних приступа за планирање и регулисање производње у МСП/МТО	Прегледни рад	-
7	<i>Hendry, Land, Stevenson, &amp; Gaalman, (2008)</i>	<i>Int. J. of Production Economics</i>	Истраживање проблема имплементације контроле оптерећења производње (WLC) <sup>20</sup> у МСП	Емпиријско истраживање - студија случаја	Описни приказ карактеристика МСП и проблема у примени

<sup>20</sup> Енгл. *Work-Load Control (WLC)*

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела
8	<i>Land &amp; Gaalman, (2009)</i>	<i>Production Planning &amp; Control</i>	Специфичности система планирања производње у МСП	Емпиријско истраживање - студија случаја	-
9	<i>Perona et al., (2009)</i>	<i>Production Planning &amp; Control</i>	Планирање залиха <i>MTO-MTS</i> у МСП	Емпиријско истраживање - студија случаја и теоријски истраживање	Перформансе: Број производних налога, просечне залихе, трошкови залиха, кашњења у испоруци
10	<i>Stevenson, (2009)</i>	<i>Production Planning &amp; Control</i>	Коментар на практичност примене концепта и метода планирања производње у МСП	Увод за специјално издање	-
11	<i>Verlinden et al., (2009)</i>	<i>Production Planning &amp; Control</i>	Развој интегралног модела за планирање производње у МСП	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање, моделирање проблема	Минимизација: укупног времена припреме, времена завршетка обраде, ограничење капацитета
12	<i>Thürer, Silva, &amp; Stevenson, (2010)</i>	<i>Int. J. of Production Research</i>	Примена <i>WLC</i> у планирању производње	Симулација и теоријско истраживање	-
13	<i>Thürer, Stevenson, &amp; Silva, (2011)</i>	<i>Int. J. of Production Research</i>	<i>WLC</i>	Прегледни рад и теоријско истраживање	-
14	<i>Heck &amp; Vettiger, (2014)</i>	<i>Int. J. of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering</i>	Примена метода планирања и распоређивања у производњи МСП	Емпиријско истраживање – анкетно испитивање	Дескриптивна статистика
15	<i>Goerzig et al., (2015)</i>	<i>Procedia CIRP</i>	Софтвер за подршку планирању производње у МСП преко размене информација између појединих фаза	Емпиријско истраживање - студија случаја	-

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела
16	<i>O'Reilly et al., (2015)</i>	<i>Int. J. of Operations &amp; Production Management</i>	Спремност МСП да имплементира хијерархијско планирање производње	Емпиријско истраживање – студија случаја, испитивање, интервју	Дескриптивна статистика
17	<i>Yang, Arndt, &amp; Lanza, (2016)</i>	<i>Procedia CIRP</i>	Симулација за подршку планирању и регулисању производње у МСП (анализа и евалуација путем <i>KPI</i> )	Емпиријско истраживање - студија случаја	Анализа и евалуација симулације путем <i>KPI</i> : % правовремених испорука, искоришћеност машина, недовршена производња, квалитет, трошкови
18	<i>Bertolini et al., (2017)</i>	<i>Production Planning &amp; Control</i>	Алат за мапирање активности у процесу производње МСП и <i>MTO</i>	Емпиријско истраживање - студија случаја	<i>WLC</i> и <i>VSM</i> <sup>21</sup>
19	<i>Huang, (2017)</i>	<i>Production Planning &amp; Control</i>	Информациони захтеви за ефективну примену контроле оптерећења у <i>MTO</i> МСП	Емпиријско истраживање - студија случаја	-

<sup>21</sup> Енгл. *Value Stream Mapping* (Мапирање токова вредности).

**Табела 36:** Квалитативна анализа литературе – *Job Shop* <sup>22</sup>

№ <sup>o</sup>	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
1	<i>Jones et al., (1999)</i>	<i>Wiley encyclopedia of electrical and electronics engineering</i>	Технике и методе решавања проблема <i>Job Shop (JS)</i>	Прегледни рад	-	-
2	<i>Gaalman &amp; Perona, (2002)</i>	<i>Production Planning &amp; Control</i>	<i>JS</i> и <i>WLC</i>	Увод за специјално издање	-	-
3	<i>Canbolat &amp; Gundogar, (2004)</i>	<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>	<i>JS</i>	Хеуристика	$\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n F_j$ $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n T_j$	<i>Fuzzy</i> правила приоритета
4	<i>Saidi-Mehrabad &amp; Fattahi, (2007)</i>	<i>Int. J. of Advanced Manufacturing Technology</i>	<i>FJS</i>	Метахеуристика	$C_{max}$	Табу претраживање ( <i>TS</i> ) <sup>23</sup>
5	<i>Essafi, Mati, &amp; Dauzère-Pérès, (2008)</i>	<i>Computers &amp; Operations Research</i>	<i>JS</i> , различита времена уласка производа у систем	Метахеуристика	$\omega_j \cdot \sum_{j=1}^n T_j$	Генетски алгоритми ( <i>GA</i> ) <sup>24</sup>
6	<i>Gao, Sun, &amp; Gen, (2008)</i>	<i>Computers &amp; Operations Research</i>	<i>FJS</i>	Метахеуристике	$C_{max}$ укупно и максимално радно време машина	<i>GA</i> и Метода променљивих околина ( <i>VNS</i> ) <sup>25</sup>
7	<i>Pezzella et al., (2008)</i>	<i>Computers &amp; Operations Research</i>	<i>FJS</i>	Метахеуристика	$C_{max}$	<i>GA</i>

<sup>22</sup> Због великог броја референци, обрађени су искључиво научни радови публиковани у последњих 10 година (од 2007), изузетак чине значајни прегледни радови.

<sup>23</sup> ЕНГЛ. *Tabu Search*.

<sup>24</sup> ЕНГЛ. *Genetic Algorithms*.

<sup>25</sup> ЕНГЛ. *Variable Neighborhood Search*.

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
8	Tay & Ho, (2008)	Computers & Ind. Engineering	FJS, вишекритеријумски приступ	Метахеуристика и моделирање	$\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n T_j$ $\sum_{j=1}^n C_j$	Композитна правила приоритета <sup>26</sup> , генетским алгоритмима врши се селекција и комбинација различитих правила распоређивања
9	Weckman, Ganduri, & Koonce, (2008)	Journal of Intelligent Manufacturing	JS	Вештачка интелигенција	$C_{max}$	Неуронске мреже (NN) <sup>27</sup>
10	Manikas & Chang, (2009)	Computers & Industrial Engineering	JS, са временима припреме машина, вишекритеријумски приступ тежинских коефицијената	Метахеуристика	$\sum_{j=1}^n T_j \quad \sum_{j=1}^n E_j$ Ранг производа	GA
11	Roshanaei, Naderi, Jolai, & Khalili, (2009)	Future Generation Computer Systems	JS са временима припреме	Метахеуристика	$C_{max}$ време припреме	VNS
12	Zhou, Cheung, & Leung, (2009)	European J. of Operational Research	JS	Метахеуристика	$\omega_j \cdot \sum_{j=1}^n T_j$	GA
13	Zhou, Nee, & Lee, (2009)	Int. J. of Production Research	Динамични JS	Метахеуристика	$\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n T_j$ $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (C_j - R_j)$	Оптимизација колонијом мравца (ACO) <sup>28</sup>

<sup>26</sup> ЕНГЛ. *Composite Dispatching (Priority) Rules.*

<sup>27</sup> ЕНГЛ. *Neural Network.*

<sup>28</sup> ЕНГЛ. *Ant Colony Optimization.*

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
14	<i>Adibi, Zandieh, &amp; Amiri, (2010)</i>	<i>Expert Systems with Applications</i>	Динамични <i>JS</i> , вишекритеријумски приступ	Метахеуристика	$\sum_{j=1}^n C_{max}$ случајни долазак нових послова, прекид у раду машина	<i>VNS</i>
15	<i>Lei, (2010)</i>	<i>Int. J. of Advanced Manufacturing Technology</i>	<i>JS</i> са <i>fuzzy</i> параметрима	Метахеуристика и моделирање	<i>Fuzzy C<sub>max</sub></i> <i>fuzzy</i> времена обраде, <i>fuzzy</i> рок испоруке	<i>GA</i>
16	<i>Lin et al., (2010)</i>	<i>Expert Systems with Applications</i>	<i>JS</i>	Метахеуристика	$C_{max}$	Оптимизација ројевима честица ( <i>PSO</i> ) <sup>29</sup> и симулирано каљење ( <i>SA</i> ) <sup>30</sup>
17	<i>Sha &amp; Lin, (2010)</i>	<i>Expert Systems with Applications</i>	Вишекритеријумски <i>JS</i>	Метахеуристика	$\sum_{j=1}^n C_{max}$ Време чекања	<i>PSO</i>
18	<i>Li, Pan, &amp; Liang, (2010)</i>	<i>Computers &amp; Ind. Engineering</i>	Вишекритеријумски <i>FJS</i>	Метахеуристика	$\sum_{j=1}^n C_{max}$ $\sum_{j=1}^n p_{ijk}$ и максимално радно време машина	Хибридни <i>TS</i>

<sup>29</sup> ЕНГЛ. *Particle Swarm Optimization*.

<sup>30</sup> ЕНГЛ. *Simulated Annealing*.



№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
19	Vázquez-Rodríguez & Petrovic, (2010)	<i>Journal of Heuristics</i>	JS, вишекритеријумска приступ	Метахеуристика	$C_{\max}; T_{\max}$ $\omega_j \cdot \sum_{j=1}^n T_j$ и друге...	GA засновани на правилима приоритета
20	Bagheri & Zandieh, (2011)	<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	FJS са временима припреме која зависе од редоследа	Метахеуристика	$C_{\max}$ $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n T_j$	VNS
21	Li, Pan, & Gao, (2011)	<i>Int. J. of Advanced Manufacturing Technology</i>	FJS, вишекритеријумски приступ	Метахеуристика	$C_{\max}$ укупно и максимално радно време машина	Вештачке колоније пчела (ABC) <sup>31</sup>
22	Liu, Liu, & Tao, (2011)	<i>Advanced Materials Research</i>	DRCFJS, вишекритеријумски приступ	Метахеуристика	$C_{\max}$ и трошкови производње	Хибридни GA
23	Lu, Huang, & Yang, (2011)	<i>Int. J. of Production Research</i>	JS, правила приоритета	Хеуристика	Просечни проток времена <sup>32</sup> $\frac{\sum_{i=1}^m (\max(C_j, D_j) - R_{ji})}{m}$ $\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n  C_j - D_j $	FCFS, SPT, EDD

<sup>31</sup> ЕНГЛ. *Artificial Bee Colony*.

<sup>32</sup> ЕНГЛ. *Mean Throughput Time*.

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
24	Moslehi & Mahnam, (2011)	Int. J. of Production Economics	FJS, вишекритеријумски приступ	Метахеуристике	$C_{max}$ радно време машина <sup>33</sup> : $\sum_{j=1}^n p_{ijk}$	Локално претраживање (LS) <sup>34</sup> и PSO
25	T'kindt, (2011)	Int. J. of Production Research	Just-in-Time (JIT) JS	Прегледни рад	-	-
26	Vilcot & Billaut, (2011)	Int. J. of Production Research	FJS, вишекритеријумска оптимизација, метода $\varepsilon$ -ограничења	Метахеуристика и моделирање	$C_{max}$ $L_{max}$ $\sum_{j=1}^n T_j$	TS
27	Zhang et al., (2011)	Expert Systems with Applications	FJS	Метахеуристика	$C_{max}$	GA
28	Lei, (2012)	Applied Soft Computing Journal	Fuzzy FJS	Метахеуристика	Fuzzy $C_{max}$	GA
29	Thürer et al., (2012)	Int. J. of Production Research	JS и WLC	Симулација	Време реализације <sup>35</sup> = $\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n t_{ij} + m * k$	SimPy© модул у Python© програмском језику
30	Yang, Sun, Saygin, & Sun, (2012)	Int. J. of Advanced Manufacturing Technology	JS	Метахеуристика	$\sum_{j=1}^n w'_j E_j + \sum_{j=1}^n w''_j T_j$	GA

<sup>33</sup> Збир времена операција  $O_{ij}$  које су распоређене на машину  $k$ .

<sup>34</sup> Енгл. *Local search*.

<sup>35</sup> Време реализације енгл. *Lead Time* једнако је збиру укупног времена обраде и производу броја операција и коефицијента протока.

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
31	Chen & Matis, (2013)	Int. J. of Production Economics	JS са рециркулисањем <sup>36</sup> и правила приоритета	Хеуристика	$\omega_j \cdot \sum_{j=1}^n T_j$	Правила приоритета у распоређивању. Комбинација правила <i>SPT</i> и <i>CR</i>
32	Demir & Kürşat İşleyen, (2013)	Applied Mathematical Modelling	<i>FJS</i> , преглед математичких формулација овог проблема	Моделирање	$C_{max}$	Оптимизација, солвери <i>GAMS</i> , <i>CPLEX</i>
33	Nguyen, Zhang, Johnston, & Tan, (2013b)	Int. J. of Advanced Manufacturing Technology	<i>JS</i>	Метахеуристика	$\omega_j \cdot \sum_{j=1}^n T_j$	Генетски алгоритми засновани на правилима приоритета
34	Xiong, Xing, & Chen, (2013)	Int. J. of Production Economics	<i>FJS</i> са случајним прекидима рада машина, вишекритеријумски приступ	Метахеуристика	$C_{max}$ Робусност: <sup>37</sup> $\sigma = \frac{C_{max} - C_{0max}}{C_{0max}}$	Еволутивни алгоритми ( <i>EA</i> ) <sup>38</sup>
35	Yuan & Xu, (2013)	Computers & Ind. Engineering	<i>FJS</i>	Метахеуристика	$C_{max}$	<i>EA</i>
36	Abdullah & Abdolrazzagh-Nezhad, (2014)	Information Sciences	Fuzzy JS	Прегледни рад	-	-
37	Shen, (2014)	Computers & Ind. Engineering	<i>JS</i> са временима припреме која зависе од редоследа	Метахеуристика	$C_{max}$	<i>TS</i>
38	Lei & Guo, (2014)	Int. J. of Production Research	<i>DRCFJS</i>	Метахеуристика	$C_{max}$	<i>VNS</i>

<sup>36</sup> Поновна обрада на појединим машинама.

<sup>37</sup> разлика између тренутно актуелног  $C_{max}$  и детерминистичког (без кварова машина)  $C_{0max}$ .

<sup>38</sup> Енгл. *Evolutionary Algorithm*.

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
39	Wang & Li, (2014)	<i>Mathematical Problems in Engineering</i>	<i>JIT JS</i>	Метахеуристика	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (w'_{ij} E_{ij} + w''_{ij} T_{ij})^{39}$	VNS
40	Abdeljaouad et al., (2015)	<i>European Journal of Operational Research</i>	<i>JS</i> са нормалним и обрнутим током (монтажа и демонтажа)	Метахеуристика и моделирање	$C_{max}$	<i>NEH</i> <sup>40</sup> Хеуристика
41	Asadzadeh, (2015)	<i>Computers &amp; Ind. Engineering</i>	<i>JS</i>	Метахеуристике	$C_{max}$	<i>LS</i> и <i>GA</i>
42	Çalış & Bulkan, (2015)	<i>Journal of Intelligent Manufacturing</i>	Примена метода вештачке интелигенције на <i>JS</i>	Прегледни рад	-	-
43	Chang, Chen, Liu, & Chou, (2015)	<i>IEEE Access</i>	<i>FJS</i>	Метахеуристика	$C_{max}$	<i>GA</i> са <i>Taguchi</i> методом <sup>41</sup>
44	Chen et al., (2015)	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	<i>JIT FJS</i>	Метахеуристика	$\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n  C_j - D_j $	<i>GA</i>
45	Huang & Süer, (2015)	<i>Computers &amp; Ind. Engineering</i>	<i>JS</i> , вишекритеријумска приступ, правила приоритета	Метахеуристика	$\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n F_j \sum_{j=1}^n T_j$ $C_{max}; T_{max};$	<i>GA</i> засновани на правилима приоритета <sup>42</sup> , <i>fuzzy</i> ниво задовољства решења

<sup>39</sup> За разлику од класичних  $E_{max}T_{max}$  проблема распоређивања, где сваки производ има своје трошкове ранијег завршетка и кашњења, у овој функцији циља свака операција се посматра засебно и има своје трошкове кашњења и ранијег завршетка.

<sup>40</sup> Nawaz, Enscore, & Ham (1983).

<sup>41</sup> Селекција оптималне комбинације хромозома.

<sup>42</sup> „Генетски код“ представља низ различитих правила приоритета који се примењују корак по корак ради добијања решења. Генетским алгоритмом се проналази комбинација правила која даје највећи *fuzzy* ниво задовољавања.

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
46	Lei & Guo (2015)	Int. J. of Production Economics	DRCFJS, вишекритеријумски приступ	Метахеуристика	$C_{max}$ емисија CO <sub>2</sub>	DNS <sup>43</sup>
47	Liu, Fan, & Liu, (2015)	Computers & Ind. Engineering	Динамични JS	Метахеуристика	$C_{max}$ fuzzy временима обраде fuzzy рокови завршетка	Алгоритми дистрибуције <sup>44</sup>
48	Palacios, et al., (2015)	Computers & Operations Research	FJS са непознатим временима обраде	Метахеуристике	$C_{max}$	GA и TS
49	Shen & Yao, (2015)	Information Sciences	Динамични FJS, вишекритеријумски приступ	Метахеуристика	$C_{max} \sum_{j=1}^n T_j$ , максимално оптерећење машине <sup>45</sup> , стабилност која мери одступање између новог и почетног распореда	EA
50	Singh & Mahapatra, (2015)	Computers & Ind. Engineering	FJS	Метахеуристика	$C_{max}$	PSO
51	Yazdani, et al., (2015)	Scientia Iranica Transactions E: Industrial Engineering	DRCFJS	Метахеуристика	$C_{max}$	SA и VDO <sup>46</sup>
52	Xie & Allen, (2015)	Int. J. of Advanced Manufacturing Technology	JS са руковањем материјалом између фаза обраде	Прегледни рад	-	-

<sup>43</sup> ЕНГЛ. *Dynamical Neighborhood Search* – истовремена примена неколико структура околина у и динамички прелазак између њих.

<sup>44</sup> ЕНГЛ. *Distribution Algorithm*.

<sup>45</sup> ЕНГЛ. *Maximal Machine Workload*.

<sup>46</sup> ЕНГЛ. *Vibration Dumping Optimization* – нова метахеуристичка метода случајне претраге, заснована на пригушивању механичких вибрација

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
53	Zambrano Rey et al., (2015)	Int. J. of Advanced Manufacturing Technology	FJS	Метахеуристика	$\sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(D_j - C_j)^2}{n}}$	GA и PSO
54	Ahmadi et al., (2016)	Computers & Operations Research	DRCFJS, са случајним прекидима рада машина, вишекритеријумски приступ	Метахеуристика	$C_{max}$ стабилност која мери одступање између новог и почетног распореда	GA
55	Chaudhry & Khan, (2016)	Int. Transactions in Operational Research	Технике и методе решавања проблема Flexible Job Shop (FJS)	Прегледни рад	-	-
56	Gao & Pan, (2016)	Information Sciences	Flexible Job Shop, више ресурса	Метахеуристика	$C_{max}$	MBO <sup>47</sup>
57	Li & Gao, (2016)	Int. J. of Production Economics	FJS	Метахеуристика	$C_{max}$	GA и TS
58	Li, Huang & Niu, (2016)	Computers & Ind. Engineering	Job shop, са ограничењем два ресурса	Метахеуристика	$C_{max}$ трошкови кашњења, ранијег завршетка и ангажовање машина и радника	GA
59	Kuhpfahl & Bierwirth, (2016)	Computers & Operations Research	JS	Метахеуристика	$\omega_j \cdot \sum_{j=1}^n T_j$	LS
60	Kundakci & Kulak, (2016)	Computers & Ind. Engineering	Динамични JS	Метахеуристика	$C_{max}$ случајни долазак нових послова, прекид рада машина, промена времена обраде	Хибридни GA

<sup>47</sup> Енгл. *Migrating Birds Optimization* – хеуристика која користи аналогију формације летења јата птица.

№	Аутор	Часопис	Предмет истраживања	Методологија	Елементи модела	Метода решавања
61	Mirshekarian & Šormaz, (2016)	<i>Expert Systems with Applications</i>	Веза између карактеристика проблема <i>JS</i> и ефикасности решења	Решавање хеуристичким правилима	$C_{max}$	<i>Pearson</i> коефицијент корелације
62	Sharma & Jain, (2016)	<i>Journal of Engineering Manufacture</i>	<i>JS</i> са временима припреме	Прегледни рад	-	-
63	Zheng & Wang, (2016)	<i>Int. J. of Production Research</i>	<i>DRCFJS</i>	Моделирање и метахеуристика	$C_{max}$ Ограничења за машине и раднике	Алгоритам за оптимизацију на бази понашања воћне муве <sup>48</sup>
64	Elgendy, Hussein, & Elhakeem, (2017)	<i>Int. J. of Current Engineering and Technology</i>	Динамични <i>FJS</i>	Метахеуристика	$C_{max}$ случајни долазак нових послова, прекид у раду машина, промена времена обраде	<i>GA</i>
65	Gong et al., (2018)	<i>Journal of Cleaner Production</i>	<i>DRCFJS</i> , вишекритеријумски приступ	Метахеуристика	$C_{max}$ укупни трошак радне снаге, еколошки индикатор	<i>GA</i>
66	Yazdani, Aleti, Khalili, & Jolai, (2017)	<i>Computers &amp; Ind. Engineering</i>	<i>JS</i>	Метахеуристика и моделирање	$T_{max} + E_{max}$	Хибридни алгоритам империјалистичке конкурентности ( <i>HICA</i> ) <sup>49</sup>

<sup>48</sup> ЕНГЛ. *Fruit Fly Optimization Algorithm*.

<sup>49</sup> ЕНГЛ. *Hybrid Imperialist Competitive Algorithm*. Врста локалне претраге чија је основна идеја опонашање процеса империјалистичког такмичења великих сила за колоније. Колонију са најнижим трошковима узети од најслабијег империјалисте и доделити великој сили са највећом вероватноћом поседовања.

## 5.5. Критички осврт на досадашње резултате истраживања

Овај део докторске дисертације има за циљ да прикаже критички осврт на досадашње резултате истраживања и да пружи потенцијалне могућности за унапређење постојећих начина моделовања и решавања проблема распоређивања и терминирања, као и пружања подршке МСП у домену оперативног планирања производње и управљања ресурсима. На основу свеобухватног прегледа научно-истраживачке литературе, примећује се да су кључни појмови: Производни ресурси у МСП, подршка МСП у домену производње и концепт планирање производње у МСП веома скромно истраживани и заступљени у литератури. Скроман број селектованих радова, приликом претраживања литературе, указује да ове теме у претходних двадесет година посматрања нису на адекватном нивоу разматрања. Та чињеница може бити последица тога што дате истраживачке теме не прате постојеће трендове и новије популарне концепте (попут примене *Lean* концепта) или се верује да су дате проблеми у пракси МСП успешно решени? Међутим, према искуству ментора и аутора ове докторске дисертације, проблеми планирања производње и управљања МСП нису на адекватан начин решени у пракси, те представљају важан истраживачки изазов. У прилог овоме иду и уводни радови и позиви едитора реномираних часописа из ове области који још од 2009. указују на важност примене концепата планирања производње у малим предузећима (погледати нпр: *Stevenson*, 2009), али још увек не наилазе на адекватан одговор.

Анализирајући прегледану литературу, може се закључити следеће:

1. За истраживачку тему **производни ресурси МСП и управљање ресурсима**: Велики број радова се публикује из области *ERP* система и њихове примене у малим и средњим предузећима, на тему процеса имплементације (*Muscatello et al.*, 2008; *Antoniadis et al.*, 2015), проблема, трошкова и користи њихове примене (*Koh & Simpson*, 2005; *Johansson & Sudzina*, 2008; *Powell et al.*, 2013; *Teittinen et al.*, 2013), и проблема избора конкретног *ERP* решења (*Deep et al.*, 2008; *Selcuk Kilic et al.*, 2015). Такође, у склопу теме управљања ресурсима у МСП велики број радова који је генерисан у претраживању односи се на управљање људским ресурсима (енгл. *Human Resource Management*) што није била тема од интереса ове докторске дисертације. Радови који се односе на



адекватно управљање производим ресурсима (машине, опрема, алати, радна снага и сл.) у МСП нису заступљени, што значи да представљају изузетну истраживачку прилику;

2. За истраживачку тему **планирање производње у МСП**: Значајан део истраживања односи се на примену метода и алата за контролу оптерећења у производњи малог обима, тј. у производњи *МТО* (Hendry et al., 1998; Henrich et al., 2004; Hendry et al., 2008; Thürier et al., 2010, 2011). Други део радова указује на специфичности планирања производње у МСП (Land & Gaalman, 2009; Stevenson, 2009; Heck & Vettiger, 2014). У одређеним радовима су приказани и развој посебних софтверских апликација за планирање производње у МСП (Goerzig et al., 2015; Yang et al., 2016; Bertolini et al., 2017). Информациони захтеви система планирања производње у МСП су разматрани у (Mezgár et al., 2000; Huang et al., 2013; Piller & Wölfel, 2014) Међутим, овде је потребно напоменути следеће: Највећи број радова на тему планирања производње је оријентисан на развој софистицираних метода кроз моделирање и симулацију. Много мањи број радова је усмерен на имплементацију концепта у саму праксу планирања производње у МСП, а посебно у предузећа која производе по жељама купаца (*МТО*). Свакако да карактеристике МСП представљају посебан изазов за имплементацију концепта планирања производње због ограничених финансијских средстава, ресурса, ограничене ИТ инфраструктуре, а често и сам процес производње зависи од неколико појединаца који се не могу ослободити свакодневних обавеза у производњи како би се фокусирали на пројекат унапређивања оперативног планирања. Поред тога, предузећа из категорије *МТО* производе широк спектар производа у малим обимима (понекад и само један од врсте, јединствен), чинећи времена испоруке/реализације недетерминистичким и слабо предвидивим, а производне руте у производном погону веома променљивим. Такве карактеристике МСП ограничавају број применљивих концепата планирања производње и чине успешну имплементацију правим изазовом.

Често се у моделима планирања производње не разматра флексибилност производне опреме, ограничена расположивост радне снаге, али и простора

(површине и запремине) за међу-операцијске залихе и готове производе. Такође, што се тиче успешности планирања, основни критеријум је време иако је у пракси трошак по јединици времена много релевантнији критеријум. Поред тога, и поменути трошкови не морају бити линеарно зависни од количина и времена већ могу имати особине нелинеарних, степених функција али и одскочних. Поједини параметри који се односе на времена обраде и времена припреме у процесу производње, као и ограничење капацитета машина не морају бити унапред одређени и могу бити нејасни, па се примена метода у овој области сматра великим изазовом.

Важно је напоменути да мала предузећа најчешће базирају планирање производње на искуству, а ретко на софистицираним методама, моделима и алатима. Посебно су скромно заступљена истраживања на тему концепта оперативног планирања производње у МСП што оправдава истраживачке намере и интересовања аутора и ментора;

3. За истраживачку тему **подршка МСП**: Поред радова који се односе на пословну подршку, посебна пажња је посвећена истраживању резултата који се односе на подршку МСП за процесе и активности у производњи. Међу истраживаном групом радова највећи је број оних који истражују ефекте пословне подршке на успешност МСП (*Bennett & Robson, 1999; Boter & Lundström, 2005; Ramsden & Bennett, 2005; Berry et al., 2006; Mole et al., 2009; Sousa & Bradley, 2009; Cumming & Fischer, 2012; Sousa & Novello, 2012*). Један део радова се бави начином и факторима од утицаја на прихватање услуга подршке од стране МСП (*Boter & Lundström, 2005; Audet & St-Jean, 2007; Johnson et al., 2007*). *Rakićević et al. (2016a)* представљају концепт усаглашене подршке, као и модел планирања пружања подршке МСП којима се могу постићи већи резултати и ефекти саме подршке. Скроман број радова разматра подршку која је намењена производним активностима и процесима. *Huang et al. (2013)* представљају *Cloud* платформу за подршку реализацији производних активности, а *Lin et al. (2012)* представљају систем за подршку одлучивању у колаборативној производњи. На основу овога се може закључити да развој подршке процесу планирања у МСП представља изазов од научно-истраживачког значаја;

4. За истраживачку тему **Job Shop проблем распоређивања**: Један од најзначајнијих проблема и активности у процесу оперативног планирања производње и управљања ресурсима јесу свакако активности распоређивања производних активности и производних ресурса. Ту се посебно намеће проблем распоређивања у производњи малог обима (*Job Shop*) који је карактеристичан за МСП и МТО предузећа (*Jones et al.*, 1999; *Pezzella et al.*, 2008). За разлику од претходних истраживачких тема, у којима је очигледан мањак научно-истраживачке грађе, међу богатом литературом на тему *Job Shop* проблема уочено је следеће:

- Највећи број радова о проблему *Job Shop* разматра само једнокритеријумску функцију - време завршетка обраде свих производа ( $C_{max}$ ). Вишекритеријумски приступи, који су ближи реалним примерима, могу бити будући истраживачки изазов. *Ahmadi et al.*, (2016) наводи да је број истраживања на тему вишекритеријумског приступа у решавању проблема *FJS* много мањи него за једнокритеријумске проблеме;
- Највише се примењују софистициране метахеуристике (*GA, VNS, TS, SA*), а у мањој мери остале хеуристике попут конструктивних, као и нова правила приоритета, која су у пракси МСП од изузетне важности;
- Поред концепта *Just-in-Time (JIT)* који се употребљава у ширем смислу у управљању производњом, имплементација овог концепта у проблемима распоређивања је скромније заступљена и може бити унапређена са бројним трошковним функцијама. Такође уместо једноставне линеарне *JIT* функције, могу се применити квадратна попут енгл. *Mean Square Deviation*, и друге мере одстојања од рока за завршетак. Поред тога, трошкови кашњења (пенали) или ранијег завршетка (трошкови залиха) који се углавном представљају линеарно, у реалним случајевима нису линеарни и пропорционални времену кашњења/ранијег завршетка, те се морају моделирати као одређена нелинеарна или чак интервална функција, што аутор види као могућност унапређења;
- Проблем *Job Shop* се проширује на проблем *Flexible Job Shop*, који је добро заступљен у литератури као концепт који обједињује проблем

асигнације, одређивања редоследа и терминирања. Такође проблем је и проширен на проблем *Job Shop* са двојном ограниченошћу ресурса, прецизније ограниченошћу за расположиве људе и машине (енгл. *Dual Resource Constrained*). Ови проблеми могу бити додатно унапређени кроз примену бројних метода, алгоритама али и критеријумских функција, додатних ограничења итд. У највећем броју случајева посматрани проблем *DRCFJS* се решава према функцији циља која одређује временски тренутак завршетка обраде свих производа  $C_{max}$  (Lei & Guo, 2014; Zheng, & Wang, 2016;). Решавање овог проблема се може унапредити коришћењем вишекритеријумског приступа, кроз разматрање следећих критеријума: укупно кашњење, укупан број производа који касне, збир укупног кашњења и ранијег завршетка, укупна оптерећеност и искоришћеност машина. Поред претходних критеријума успешности плана, који се односе на временску димензију, њима се могу додати и трошковни критеријуми (трошкови кашњења и ранијег завршетка), који не морају бити линеарно зависни од времена, већ могу имати особине нелинеарних функција;

- За истраживање су интересантни и *Job Shop* са ограниченим међуфазним складиштима (број недовршених производа у систему) као и *Job Shop* са ограничењем које се односи на то да производи после обраде на једној операцији не могу чекати обраду на другој већ морају бити процесуирани без чекања између операција (енгл. *Job Shop with No-Wait Constraints*). Ови проблеми нису довољно заступљени и истражени у прегледаној литератури;
- Такође, у процесу распоређивања у оперативном планирању производње, параметри који се односе на времена обраде и припреме, као и ограничења капацитета машина не морају бити унапред одређени и могу бити нејасни (енгл. *Fuzzy*), па се примена метода генерисања распореда у таквим претпоставкама сматра изазовом, што представља правце даљих истраживања аутор. У условим неодређености проблема *Job Shop* у МСП јавља се и примена *Fuzzy* концепта на овом проблему. Најчешће су заступљене следеће *Fuzzy* карактеристике: времена трајања операција,

рок завршетка, расположиви капацитети, критеријуми успешности. Посебно је интересантна и примена *Fuzzy* логике у решавању *Job Shop* проблема преко правила приоритета, што се може и даље унапређивати.

На основу критичког осврта на преглед литературе, дефинисан је проблем као и идеје за реализацију побољшања и научног доприноса у докторској дисертацији. Преглед литературе је указао на потребу за истраживањем и мерењем стање развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП, као и потребу да се предложи нови модел подршке у домену оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП. Идеја је да се на примеру проблема распоређивања и терминирања покаже како се може унапредити једна од активности у процесу планирања производње. Намера је и да се проблем *Job Shop*, који представља проблем распоређивања и терминирања у производњи малог обима, а великог варијетета производа, приближи пословној пракси малог предузећа са аспекта његовог моделирања, коришћења различитих производних ресурса, употребе различитих критеријума за мерење успешног распореда, примене метода хеуристичке претраге које дају задовољавајућа решења у реалном времену.

## 5.6. Унапређење решавања проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП

Имајући у виду да је основни *job shop* проблем *NP*-тежак (Graham et al., 1979), а такође и његова проширења, проблеми *FJS*, *DRCFJS*, то се у његовом решавању најчешће користи хеуристички приступ: једноставна правила приоритета (Haupt, 1989) или метахеуристике. Међу метахеуристикама за решавање различитих варијанти *job shop* проблема (*FJS* и *DRCFJS*), највише се користе метода променљивих околина (Lei & Guo, 2014), генетски алгоритми (Ahmadi et al., 2016; Li, Huang, & Niu, 2016; Gong et al., 2018) хеуристике засноване на понашању „воћне муве“ (Zheng & Wang, 2016), али и остале популарне метахеуристике: табу претраживање (Li, Pan, & Liang, 2010), симулирано каљење (Yazdani, et al., 2015), табу претраживање (Omerbegović-Bijelović & Čangalović, 2005) оптимизација ројевима честица (Lin et al., 2010), колоније мравца (Zhou, Nee & Lee, 2009) и пчела (Li, Pan, & Gao, 2011), еволутивни алгоритми (Chaudhry & Khan, 2016).

Према ауторима (Zheng & Wang, 2016), методе намењене решавању проблема *DRCFJS* су веома ограничене. Скроман је и број радова који описују решавање овог проблем. То се може потврдити и према ауторској анализи литературе у делу „5.4. Анализа могућности за унапређивање подршке оперативном планирању производње - преглед и анализа литературе из истраживаних области“, у Табели 36. Аутори (Zheng & Wang, 2016), су решавали овај проблем путем хеуристике на бази понашања воћне муве. Аутор Lei & Guo (2014) наводе да предност генетских алгоритама лежи у њиховој способности глобалне оптимизације, а њихов недостатак је ниска могућност локалне претраге. Због тога исти аутори (Lei & Guo, 2014) предлажу методу *VNS* за решавање посматраног проблема. За разлику од тога Gong et al., (2018) су применили генетске алгоритме на проблему *DRCFJS* кроз вишекритеријумски приступ на критеријумима: трошак ангажовања радне снаге,  $C_{max}$  (време завршетка обраде свих производа), и минимизација еколошких индикатора. Yazdani et al. (2015), су применили симулирано каљење. Liu, Liu, & Tao (2011), су применили хибридне генетске алгоритме, на проблему *DRCFJS*, за критеријуме  $C_{max}$  и трошкове производње.

Аутори *Villa & Taurino* (2018, стр. 3) наводе да приступ решавања путем генетских алгоритама може бити потенцијални алат за менаџере МСП, јер почиње са генерисањем скупа распореда користећи на случајан начин неко правило приоритета у распоређивању (и ово се често користи од стране планера у МСП). Након тога, врши се поређење добијених распореда кроз скуп изабраних кључних индикатора перформанси (енгл. *KPI – Key Performace Indicators*) и избор адекватног распореда са прихватљивим вредностима индикатора.

Проблеми вишекритеријумског одлучивања и оптимизације су ближи реалном представљању управљачких проблема. Они најчешће разматрају циљеве који су потпуно или делимично конфликтни. Постоје два основна приступа у вишекритеријумској оптимизацији (*Konak, Coit, & Smith, 2006*). Први приступ је да се све критеријумске функције агрегирају у једну или да се све сем једне критеријумске функције преведу у ограничење. Агрегација више критеријумских функција у једну је могућа са методама теорија корисности (енгл. *Utility Theory*) и методама тежинских коефицијената. Овај приступ је познат и под називом *a priori*. Проблем који се јавља је у одговарајућем избору тежинских коефицијената или избору функције корисности која карактерише преференције доносиоца одлуке. Веома је тешко прецизно и тачно изабрати коефицијенте значајности, чак и када је доносилац одлуке веома упознат са посматраним проблемом.

Други приступ у решавању проблема вишекритеријумске оптимизације је одређивање целог скупа Парето оптималних решења, или његовог репрезентативног подскупа. Други приступ је познат под називом *a posteriori*, и омогућава доносиоцу одлуке избор између више понуђених решења. Скуп Парето оптималних решења је скуп решења полазног проблема који није доминиран од стране неког другог решења. Код Парето оптималних решења током преласка из једног у друго решење постоји увек извесна количина нарушавања једног критеријума да би се побољшао други критеријум. За Парето-оптимална (или недоминирана) решења важи да није могуће смањити вредност једног критеријума без повећања бар једне вредности међу другим критеријумима (*Pinedo, 2012*). Допустиво решење  $x^*$  представља *Парето оптимум* (недоминирано решење) задатка вишекритеријумске оптимизације ( $\min f_k(x)$ ,  $k = 1, \dots, p$  где је:  $x \in X$  решење у облику скупа  $n$  променљивих) ако не постоји неко

друго допустиво решење  $x$  такво да доминира над тим решењем  $x^*$ , тј. да важи:  $f_k(x) \leq f_k(x^*) \forall k = 1, \dots, p$ ; при чему бар једна од неједнакости прелази у строгу неједнакост „ $<$ “ (Вујошевић, Станојевић, и Младеновић, 1996, стр. 119; *Konak, Coit, & Smith, 2006*). Скуп свих допустивих недоминираних решења у  $X$  назива се Парето оптимални скуп (*Konak, Coit, & Smith, 2006*).

У вишекритеријумским проблемима распоређивања, у литератури је такође највише заступљен приступ агрегације више критеријума у једну критеријумску функцију тј. функцију циља. Међутим такви алгоритми обично показују лошије перформансе у поређењу са вишекритеријумским еволутивним алгоритмима (*Deb, 2001; Ahmadi et al., 2016*). Вишекритеријумски генетски алгоритми (енгл. *Multi-Objective Evolutionary Algorithms - MOEA*) спадају у категорију вишекритеријумских еволутивних алгоритама. Међу свим типовима вишекритеријумски еволутивних алгоритама, они који су засновани на Парето приступу, представљају најприкладније алгоритме у којима је нагласак на кретању ка граници ефикасности<sup>50</sup> (*Zitzler & Thiele, 1999; Ahmadi et al., 2016*).

Крајњи циљ вишекритеријумске оптимизације је идентификација свих решења у Парето оптималном скупу. За многе проблеме скуп Парето оптималних решења може бити огромних димензија, па је проналажење свих његових чланова практично неизводљиво. То је случај са вишекритеријумским проблемима комбинаторне оптимизације, где доказ Парето оптималности није изводљив па се у тим ситуацијама приказују најбоље позната Парето оптимална (недоминирана) решења. Жеља је да најбоље познато недоминирано решење буде што је могуће ближе Парето фронту или и да буде подскуп скупа свих Парето оптималних решења.

Према ауторима (*Ahmadi et al., 2016, стр. 56*), међу вишекритеријумским еволутивним алгоритмима, генетски алгоритми су се показали као једни од најбољих алгоритама за решавање комбинаторних проблема оптимизације, са бољим рачунским перформансама него алгоритми као што су случајна претрага, оптимизација ројевима честице.

У овој докторској дисертацији у сврху решавања проблема *DRCFJS* као подршка

---

<sup>50</sup> Граница коју чини скуп свих Парето оптималних (недоминираних) решења



оперативном планирању производње и управљању ресурсима у малим и средњим предузећима примењена је метахеуристика вишекритеријумски генетски алгоритми (*NSGA-II*). Вишекритеријумски генетски алгоритам познат под називом: генетски алгоритам брзог сортирања недоминираних решења *NSGA-II* (енгл. *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II*), први пут је представљен од стране (*Deb, 2001, стр. 234; Deb et al., 2002*). Основни генетски алгоритам сортирања недоминираних решења (*NSGA*) спада у вишекритеријумске еволутивне алгоритме и најпре је био предложен од стране (*Srinivas & Deb, 1994*). Да би превазишао високу зависност алгоритма *NSGA* од дељења функције подобности (енгл. *Fitness Function*) и осталих параметара, *Deb et al., (2002)* су предложили унапређени *NSGA-II*. Генетски алгоритам сортирања недоминираних решења (*NSGA-II*), је једна од техника вишекритеријумских еволутивних алгоритма која оптимизује критеријумске функције у проблему симултано и без утицаја било ког другог решења (*Deb et al., 2002; Yusoff, Ngadiman, & Zain, 2011; Ahmadi et al., 2016*).

*NSGA-II* је један од најпознатијих вишекритеријумских генетских алгоритама тј. метахеуристика за решавање комбинаторних проблема а поседује и одређене специфичне карактеристике и функционалности: (1) приступ са брзим сортирањем недоминираних решења, (2) процедура која брзо и благовремено може проценити удаљеност решења (енгл. *Crowding Distance, I<sub>distance</sub>*) (удаљеност од других суседних недоминираних решења) тј. од границе ефикасности и (3) оператор који једноставно врши поређење добијених решења у популацији према рангу недоминираности (енгл. *Non domination rank, I<sub>rank</sub>*)<sup>51</sup>, и удаљености од најближих недоминираних суседних решења (*I<sub>distance</sub>*) (*Fortin & Parizeau, 2013; Ahmadi et al., 2016*). Овакве карактеристике учиниле су алгоритам *NSGA-II* веома успешним у решавању проблема распоређивања из групе *job shop*. (*Lang & Li, 2011; Ahmadi et al., 2016; Gong et al., 2018*).

Да би успешно водила процес вишекритеријумске селекције заједно са еволуцијом, *NSGA-II* користи оператор поређења (енгл. *Crowded-comparison*)

---

<sup>51</sup> Услов доминације између решења утиче на дефинисање рангова. Генерално ранг указује на индекс најбоље досегнуте Парето границе којој припада посматрано решење. Ранг 1,  $I_{rang} = 1$  односи се на недоминирано решење и припада најбоље досегнутој граници ефикасности. Решење је недоминирано уколико не постоји друго решење са бољом вредношћу ранга.

$(\prec_c)$ . Свака јединка у популацији има два атрибута: ранг недоминаности ( $I_{rank}$ ), и растојање од најближег суседа ( $I_{distance}$ ). Растојање  $I_{distance}$ , представља удаљеност од суседних решења и користи се када два решења у процесу селекције имају исти ранг. Ово растојање се посматра за сваку функцију посебно и код неког решења посматрају се његови најближи суседи са мањом и већом вредности посматране функције (Fortin & Parizeau, 2013). Вредност  $I_{distance}$  се добија сабирањем одстојања по свакој функцији. Поређење у складу са поретком  $(\prec_c)$  је дефинисано преко претходна два атрибута (Deb et al., 2002):

$$i \prec_c j := i_{rank} < j_{rank} \vee (i_{rank} = j_{rank} \wedge i_{dist} > j_{dist})$$

Објашњење претходног поређења је следеће: Између два решења са различитим ранговима недоминаности, решење са бољим, тј. нижим рангом се преферира. Оператор селекције фаворизује решења са мањим рангом  $I_{rank}$ , када решења не леже на истој граници. Али када оба решења леже на истој граници (имају исти ранг), онда преферира решење које се налази у простору са мање нагомиланих осталих решења. Дакле у случају једнакости рангова недоминаности, онда се за решење узима оно које се налази на већој удаљености од суседних решења решење у подручју мање густине решења (Deb et al., 2002; Gong et al., 2018). Индикатор  $I_{distance}$  омогућава процену густине решења за сваку специфичну Парето границу (Deb et al., 2002). Овакав процес селекције удаљених решења, обезбеђује да алгоритам не конвергира у локални оптимум (Lang & Li, 2011).

Поред претходног, *NSGA-II* је тип генетских алгоритма који укључује стандардне операторе који се користе. Рачунска сложеност алгоритма *NSGA* одређена је са сложеношћу процедуре сортирања недоминираних решења у свакој генерацији. Аутори (Fortin & Parizeau, 2013) наводе да се популарност алгоритма *NSGA-II* може окарактерисати преко ниске рачунске сложености, и коришћењем елитизма. За разлику од класичног приступа генетских алгоритама који је заснован на дељењу параметара подобности (енгл. *Fitness Sharing Parameter*) да би се задржала разноврсност и спречила конвергенција ка јединкама истог генетског материјала, *NSGA-II* је заснован на претходно објашњеном једноставном механизму мерења удаљености од суседних решења (енгл. *Crowding Distance*).

Кратак приказ алгоритма *NSGA-II* је дат у облику псеудо кода на Слици 51.

```

Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II)
for each  $p \in P$            изабрати једно решење из популације
 $S_p = \emptyset$            скуп решења над којим решење  $p$  доминира
 $n_p = 0$                  број решења који доминирају над решењем  $p$ 
  for each  $q \in P$ 
    if ( $p < q$ ) then      ако решење  $p$  доминира над решењем  $q$ 
       $S_p = S_p \cup \{q\}$  додати  $q$  скупу решења која су доминирани од решења  $p$ 
    else if ( $q < p$ ) then
       $n_p = n_p + 1$      повећати бројач за број решења која доминирају  $p$ 
  if  $n_p = 0$  then         $p$  припада првом фронту
     $p_{rank} = 1$        ранг недоминираности решења  $p$  је 1
     $F_1 = F_1 \cup \{p\}$    $p$  се додаје скупу недоминираних решења на првом фронту ( $F_1$ )
   $i = 1$                  Иницијализација за бројач фронтова
while  $F_i \neq \emptyset$ 
   $Q = \emptyset$          скуп у решењу у наредном фронту
  for each  $p \in F_i$ 
    for each  $q \in S_p$ 
       $n_q = n_q + 1$      укупан број решења која доминирају над решењем  $q$ 
      if  $n_q = 0$  then
         $q_{rank} = i + 1$ 
         $Q = Q \cup \{q\}$ 
   $i = i + 1$ 
   $F_i = Q$ 

```

**Слика 51:** Кратак псеудо-код алгоритма *NSGA-II*

**Извор:** *Deb et al.* (2002, стр. 184)

*NSGA-II* – према аутору (*Deb et al.*, 2002) превазилази следеће недостатке код вишекритеријумских еволутивних алгоритама:

- Рачунарска сложеност код обичног *NSGA* је  $O(MN^3)$ , где је  $M$  број критеријума а  $N$  величина популације. Сложеност *NSGA-II* алгоритма је  $O(MN^2)$ ;
- Неелитистички приступ (елитна решења тј. јединке се не задржавају). У алгоритму *NSGA-II* се користи елитизам, јер се одређен број најбољих јединки задржава пошто се селекција врши на основу најбоље рангираних јединки по недоминираности. Такође, сва недоминирана решења могу се сматрати елитним;
- Потреба за дефинисањем параметра размене (енгл. *Sharing Parameter*) ради задржавања разноврсности популације. Потреба за параметром размене се

елиминише јер се користи индикатор  $I_{\text{distance}}$ . Међу јединкама истог ранга недоминираности бирају оне које су више удаљене од осталих јединки, па се тако постиже разноврсност популације.

Предложени алгоритам *NSGA-II* у докторској дисертацији за решавање проблема *DRCFJS* је развијен на основу рада (*Ahmadi et al.*, 2016) у којем су примењени различити вишекритеријумски генетски алгоритми на проблем *FJS*.

Пре детаљног објашњења сваког корака у приказаном алгоритму (Слика 54), неопходно је објаснити структуру хромозома и кодирање.

**Структура хромозома и кодирање** – Основна структура хромозома преузета из радова (*Kacem, Hammadi, & Borne*, 2002; *Al-Hinai & ElMekkawy*, 2011; *Ahmadi et al.*, 2016) има кодирани облик представљен на Слици 52. То је такозвано на пермутацији засновано представљање хромозома (енгл. *Permutation-Based Chromosome*). Изворно према ауторима (*Ahmadi et al.*, 2016) овај облик хромозома је представљен за проблем *FJS*, и подразумева приказ матрице чији се сваки ред састоји од тројке  $(i, j, k)$ , где је:  $i$  – индекс који означава број операције обраде производа;  $j$  – индекс који означава редни број производа;  $k$  – индекс који означава редни број машине који је додељен за реализацију операције. Дакле прва колона представља број операција обраде производа. Елементи прве колоне узимају вредности од један до броја који представља расположив број операција обраде сваког посматраног производа. Друга колона представља ознаку посматраног производа. Елементи друге колоне узимају вредност од један до укупног броја производа у проблему распоређивања. Редослед распоређених бројева у другој колони, представља решење у распореду обраде производа по машинама. Трећа колона означава додељене машине, а вредности које се узимају су од 1 до укупног броја расположивих машина. Пример једног хромозома 3 производа на 3 машине је представљен на Слици 52.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 3 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & 3 \end{bmatrix}$$

**Слика 52:** Пример једног хромозома

**Избор:** *Ahmadi et al.*, (2016, стр. 59)

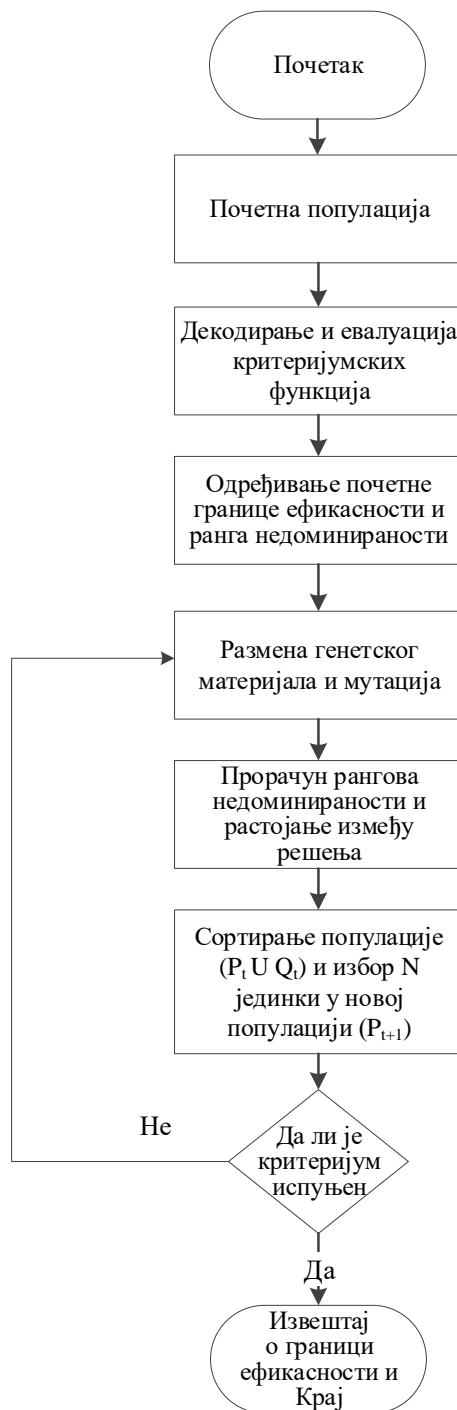
Посматрајући проблем *DRCFJS* у коме се разматрају радници и распоређују по машинама, аутор је унапредио постојећи код модификацијом треће колоне у коду. Проблем је проширен за додатни ресурс, расположиве раднике који се ангажују на појединим машинама у сврху обраде производа (тј. реализације производних активности/операција). Овај проблем је врло изражен у малим и средњим предузећима где радна снага чини ограничен ресурс. Сходно проширеном проблему, извршена је модификација треће колоне у матрици. Вредности из треће колоне сада узимају вредности од један до  $t*w$ , где  $t$  представља укупан број машина а  $w$  укупан број радника. Пример истовременог кодирања и машина и радника је дат на Слици 53 на примеру два радника и три машине.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \\ 3 & 1 & 3 \\ 1 & 2 & 4 \\ 2 & 2 & 5 \\ 3 & 2 & 6 \end{bmatrix}$$

**Слика 53:** Истовремено кодирање радника и машина

У првој колони су представљене машине  $m=3$  и  $w=2$  на основу тога у трећој колони се налазе шифре које јединствено идентификују да је распоређена нека од 3 машине и неки од 2 радника. На пример вредност у трећој колони 6 означава распоред треће машине и другог радника. На основу тога трећа колони у хромозому кода једног решења, означаваће истовремено додељену машину и

додељеног радника. Приликом поновног додељивања машина или радника у процесу генерисања новог решења, могуће је изабрати неку од следећих опција: иста машина са различитим радником, различита машина са истим радником и различита машина са различитим радником.



Слика 54: Ток процеса алгоритма *NSGA-II*

Избор: модификовано *Ahmadi et al.*, (2016, стр. 61)

Дијаграм тока процеса извршавања имплементираних хеуристике *NSGA-II* која је заснована на раду (*Ahmadi et al., 2016*), али проширена на проблем *DRCFJS* представљена је на Слици 54, преко следећих активности: Иницијализација и дефинисање почетне популације, евалуација почетне популације, одређивање почетне границе ефикасности и ранга недоминаности, избор јединки у популацији и размена генетског материјала и мутација, прорачун ранга недоминаности и растојање између решења, сортирање популације и избор  $N$  јединки у новој популацији, критеријум испуњености завршетка и улазак у нови генетски циклус.

**Иницијализација и генерисање почетне популације** – за добијање почетног решења (почетне популације), коришћена је *Ini-PopGen* хеуристика аутора (*Al-Hinai & ElMekkawy, 2011; Ahmadi et al., 2016*). Ова хеуристика генерише популацију решења полазног проблема (величине  $N$ ) на следећи начин. Половина популације решења ( $N/2$ ) полазног проблема се добија тако што се на случајан начин одреде редослед обраде расположивих производа и њихово додељивање на поједине машине. Друга половина решења ( $N/2$ ), у *Ini-PopGen* хеуристици, се добија на интелигентнији начин јер се за претходно дефинисан редослед производа бирају машине са најмањим временским нормативима извршавања операција, истовремено водећи рачуна и о њиховој расположивости (на неким операцијама поједине машине није могуће расподелити). Прецизније операције обраде се додељује машини која може најраније да заврши реализацију операције у односу на остале прикладне машине за ту операцију обраде. Такође поред разматрања времена обраде, ова хеуристика разматра и оптерећеност машина. У докторској дисертацији почетна хеуристика *Ini-PopGen* је унапређена на следећи начин. Аутор је у раду проширио хеуристику *Ini-PopGen* разматрањем додатног ресурса, радника у процесу одређивања распореда и редоследа. Приликом сваког додељивања машине и радника за поједину операцију, табела са временским нормативима је ревидирана како би означила временске тренутке када поједине машине и радници постају слободни. Према овој хеуристици операција се не додељује машини са радником који има најмање време обраде, него машини са радником која ће пре завршити ову операцију (машина и радник који раније постају расположиви могу и раније почети и завршити посао).

Ова модификација *Ini-PopGen* је представљена илустративно на примеру распореда 3 производа на 2 машине и 2 радника на Слици 55. Прва операција се додељује на основу минимума вредности у табели временских норматива (Слика 55). Приликом сваке наредне доделе, за ангазоване машине и раднике се врши модификација података који су представљени као временски нормативи. Операција  $O_{12}$  је додељена машини  $M_2$  и раднику  $W_2$ . На основу доделе, долази до модификација у табели норматива (Слика 55). Подаци сада представљају збир података који означава најранију расположивост машине и радника и времена већ познатог трајања обраде операције на машинама са радницима. У наредном кораку, распоређивањем операције  $O_{12}$  на машину  $M_2$  и радника  $W_2$ , времена појединих операција су се повећала због заузетости машине  $M_2$  и  $W_2$  за обраду операције за једну временску јединицу. Нови нормативи осликавају расположиво време.

		$M_1$		$M_2$	
		$W_1$	$W_2$	$W_1$	$W_2$
$P1$	$O_{11}$	2	3	2	4
	$O_{21}$	1	3	2	5
$P2$	$O_{12}$	5	2	2	<b>1</b>
	$O_{22}$	5	1	4	2
	$O_{32}$	3	2	5	2
$P3$	$O_{13}$	4	2	2	1

 $\Rightarrow$ 

		$M_1$		$M_2$	
		$W_1$	$W_2$	$W_1$	$W_2$
$P1$	$O_{11}$	2	3+1	2+1	4+1
	$O_{21}$	1	3+1	2+1	5+1
$P2$	$O_{12}$	5	2	2	1
	$O_{22}$	5	1+1	4+1	2+1
	$O_{32}$	3	2+1	5+1	2+1
$P3$	$O_{13}$	4	2+1	2+1	1+1

**Слика 55:** Начин ажурирања података о временима трајања појединих операција

**Декодирање и евалуација критеријумске функције** – да бисмо вредновали решења у почетној популацији коју је генерисала почетна хеуристика, неопходно је извршити декодирање решења и њихову евалуацију. Дефинисане су критеријумске функције које се користе у евалуацији добијених решења. Критеријумске функције биле су  $C_{max}$  – временски тренутак завршетка обраде свих распоређених производа и  $\sum(|E_j|+|T_j|)$  – збир апсолутних вредности одступања завршетка сваког од производа од његовог временског рока за завршетак<sup>52</sup>. На основу дефинисаних критеријумских функција и њихових реализованих вредности у појединим решењима, касније се дефинишу

<sup>52</sup> Важност *JIT* критеријума је истакнута у делу „4.7.3. Проблем правовременог распоређивања и терминирања“ докторске дисертације



недоминирана решења као и њихове границе ефикасности.

**Одређивање границе ефикасности почетне популације** – међусобним поређењем јединки у почетној популацији (свака јединка се пореди са сваком по свакој од критеријумских функција), дефинишу се рангови који одређују достигнуте границе ефикасности почетне популације. Граница ефикасности у овом алгоритму има улогу најбоље достигнуте Парето границе тј. скупа недоминираних решења. Јединке у почетној популацији које представљају строго недоминирана решења од стране других јединки, добијају ранг 1. Јединке које су доминирани од стране јединки ранга 1, а имају и скуп јединки над којим оне доминирају, добијају ранг 2. На основу рангирања јединки у популацији врши се њихова селекција за процес генетске размене материјала и процес мутације.

**Генетски оператори за размену генетског материјала** – коришћење адекватних генетских оператора је од великог значаја за перформансе саме хеуристике генетски алгоритми. Неадекватни оператори могу проузроковати добијање недопустивог решења. У таквим ситуацијама је неопходна примена механизма поправке постојећег недопустивог решења, а то може захтевати додатно време и рачунарску сложеност. *Al-Hinai & ElMekkawy* (2011) и *Ahmadi et al.*, (2016) предлажу операторе који одржавају допустивост у генерисаним решењима. Предложени оператори су *POX* (енгл. *Preserving Order-based Crossover*) генетски оператор који задржава поредак (Слика 56), и оператори за реализацију процеса мутације: мутација заснована на позицији операција (енгл. *Position Based Mutation - PBM*) као и мутације засноване на позицији машина за реализацију процеса мутације (енгл. *Machine Based Mutation - MBM*). Представљени пример размене генетског материјала на Сликама 56, 57 и 58 су примери преузети из (*Ahmadi et al.*, 2016, стр. 60) без разматрања радника, и где трећа колона у матрици представља искључиво машине.

Приказ размене генетског материјала (*POX*) је представљен на Слици 56. На случајан начин два селектована гена код родитеља донора прелазе код родитеља примаоца и задржавају своју позицију у поретку. Тачније операције  $O_{11}$  и  $O_{21}$  (редови матрице означене стрелицама  $\rightarrow$ ) на машинама  $M_1$  и  $M_2$  (респективно) постају део другог решења, задржавајући постојећи редослед тј. позицију. Исте

операције из другог решења се бришу (редови означени знаком  $\otimes$ ). На тај начин настаје нови потомак тј. решење које представља генерисани редослед операција.

$$\begin{array}{ccc}
 \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 1 \\ 3 & 2 & 2 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & \otimes \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 3 & 2 \\ 2 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 2 & 3 & 1 \\ 3 & 2 & 2 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 1 \\ 3 & 2 & 2 \end{bmatrix} \\
 \text{родитељ} & & \text{родитељ} & \text{потомак} \\
 \text{донор} & & \text{прималац} & 
 \end{array}$$

**Слика 56:** Приказ генетског оператора *POX*

**Избор:** *Ahmadi et al.*, (2016, стр. 60)

Када је реч о операторима **мутације**, *MBM* оператор (*Al-Hinai & ElMekkawy*, 2011; *Ahmadi et al.*, 2016) функционише на следећи начин (Слика 57). Један број гена у једном хромозому се на случајан начин селекује и мења. То су операције обраде производа које се додељују другим машинама на обраду. Пример је дат на Слици 57 где се за операцију  $O_{23}$  (означена са стрелицом  $\rightarrow$ ) мења машина са  $M_1$  на  $M_2$ :

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 \\ \rightarrow 2 & 3 & 1 \\ 3 & 2 & 2 \end{bmatrix} & \Rightarrow & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & 2 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

**Слика 57:** *MBM* генетски оператор мутације

**Избор:** *Ahmadi et al.*, (2016, стр. 60)

У дисертацији, основна структура генетских оператора (размена генетског материјала и мутације), преузета је од (*Al-Hinai & ElMekkawy*, 2011) и од (*Ahmadi et al.*, 2016), уз проширење генетских оператора за нови ресурс (радници) и нов начин кодирања (представљен на Слици 53). Тако је настао генетски оператор мутације додељених радника и машина (енгл. *Machine and Worker Based Mutation*

- *MWBM*). За представљене операције на случајан начин се врши промена следећих додељивања: само радника, само машина, истовремено и радника и машина.

Наредни генетски оператор је *PBM*, мутација заснована на редоследу операција. Почине тако што се на случајан начин селекује једна операција од родитеља (на Слици 58 означена стрелицом  $\rightarrow$ ) а затим се убацује у потомка (ново решење) на нову позицију (место означено знаком  $\otimes$ ) а остале операције се преносе без нарушавања поретка. У примеру са Сlike 58, операција  $O_{32}$  (производ 2) долази на место означено знаком  $\otimes$  остали редослед операција (прецизније редослед производа и њихових операција) задржава свој поредак. Поред задржавања поретка води се рачуна и о поштовању ограничења допустивости (ограничење редоследа операција обраде у оквиру сваког производа). У примеру са Сlike 58, трећа операција другог производа ( $O_{32}$ ) (означена стрелицом  $\rightarrow$ ), мења поредак (долази на прво место од свих операција другог производа) и постаје  $O_{12}$ .

$$\begin{array}{l} \otimes \\ \rightarrow \end{array} \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & 2 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & 3 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 3 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 2 \end{bmatrix}$$

Слика 58: *PBM* генетски оператор мутације

Избор: *Ahmadi et al.*, (2016, стр. 60)

Селекција јединки за процес размене генетског материјала (енгл. *Crossover*) и процес мутације се врши према рангу недоминаности на основу кога је извршено сортирање. У зависности од дефинисане стопе *crossover*-а изабрани број јединки из популације  $P_t$  (која броји  $N$  чланова) се међусобно укршта путем размене генетског материјала. Такође од изабране популације  $P_t$  бирају се јединке за процес мутације према дефинисаној стопи (број јединки који ће мутирати, и број гена у свакој мутираној јединки који ће бити промењен).

Као резултата овог процеса, у процесу укрштања од селектованих јединки

(родитеља) и процеса мутације јединки, настају нове јединке (потомци) које чине нову популацију  $Q_t$  чија величина није  $N$  јер зависи од стопа којом се врши селекција јединки за процес *crossover*-а и процес мутације.

**Сортирање популације и избор нове** – Помоћу генетских оператора настала је нова популација потомака  $Q_t$ . Да би се задржао одређени број добрих јединки из старе популације (елитизам) формира се популација  $R_t$  која је добијена на основу популација родитеља  $P_t$  и популације потомака  $Q_t$ . Нова популација  $R_t = P_t \cup Q_t$  је величине која је већа од  $N$ . Потребно је извршити евалуацију популације  $R_t$  сортирањем према ранговима недоминираности (тј. према оствареним вредностима критеријумских функција) и онда изабрати  $N$  јединки нове популације  $P_{t+1} \subset R_t$ . Попуњавањем нове популације  $P_{t+1}$  са јединкама до величине  $N$ , најпре се врши према рангу недоминираности ( $I_{rank} = 1$ ). Уколико након распоређивања јединки првог ранга недоминираности, има још места до капацитета  $N$ , разматрају се и јединке са нижим ранговима ( $I_{rank} > 1$ ). Ако је могуће све јединке истог ранга распоредити у нову популацију, не разматра се додатни индикатор  $I_{distance}$  (удаљеност сваке јединке од суседних решења на граници ефикасности). У супротном уколико све јединке истог ранга не могу бити обухваћене популацијом  $N$ , анализира се и индикатор ( $I_{distance}$ ), погледати Сliku 59. На основу тога бира се јединка истог ранга са већим одстојањем (*Deb et al.*, 2002; *Gong et al.*, 2018), која је више удаљена од суседних решења. Изабрани чланови нове популације  $P_{t+1}$ , величине  $N$ , уколико није достигнут максимални број генерација, прелазе у нову итерацију размене генетског материјала међу јединкама и мутације.

Наведени алгоритам се зауставља када је достигнут максималан број генерација (итерација) у дефинисаном процесу генетске еволуције. Добија се резултат о најбоље постигнутим решењима тј. распоредима који се налазе на граници ефикасности (и њиховим вредностима критеријумских функција).

Представљена хеуристика у докторској дисертацији спада у интегрисан приступ у решавању проблема *DRCFJS* јер потпроблеме додељивање ресурса (машина и радника) и одређивање редоследа обраде производа по машинама, истовремено решава у оквиру једне процедуре тј. алгоритма. Овим начином решавања се

задржава комплексност проблема, али и исход добијања квалитетнијих резултата тј. решења која одговарају реалним проблемима распоређивања.

Прорачун за <i>crowding distance</i> - $I_{\text{distance}}$	
$l =  \mathcal{F} $	број решења у фронту $\mathcal{F}$
for each $i$ , скуп $\mathcal{F}[i]_{\text{distance}} = 0$	почетна удаљеност решења $i$
for each критеријум $m$	
$\mathcal{I} = \text{sort}(\mathcal{F}, m)$	сортирање решења по свакој функцији циља
$\mathcal{F}[1]_{\text{distance}} = \mathcal{F}[l]_{\text{distance}} = \infty$	удаљеност првог и последњег решења у фронту је $\infty$ , па ће они увек бити селектовани у популацији
for $i = 2$ to $(l-1)$	за сва остала решења у фронту
$\mathcal{F}[i]_{\text{distance}} = \mathcal{F}[i]_{\text{distance}} + (\mathcal{F}[i+1].m - \mathcal{F}[i-1].m) / (f_m^{\text{max}} - f_m^{\text{min}})$	за свако $i$ , сабира се нормализована вредност по свакој функцији циља

**Слика 59:** Кратак приказ псеудо кода за  $I_{\text{distance}}$

**Избор:** *Deb et al.* (2002, стр. 185)

Након објашњења хеуристике, извршена је њена провера кроз решавање конкретних проблема *DRCFJS*. Подаци који су коришћени за експериментисање са предложеном хеуристиком генетски алгоритми, представљени су у раду (*Gong et al.*, 2018) на следећој интернет страни: <https://pan.baidu.com/s/1mhHfv6K>. Овде је потребно напоменути да не постоје званично утврђени *benchmark* примери за проблем *DRCFJS*. Већина аутора (*Lei & Guo*, 2014; *Zheng & Wang*, 2016; *Gong et al.*, 2018) позива се на *benchmark* примере за проблем *FJS*, уз модификације и убацивање димензија радника и података о нормативима временског трајања операција помоћу различитих статистичких расподела. У овој дисертацији коришћени су *benchmark* примери (*DFJSP 01-10*) аутора (*Gong et al.*, 2018). Ови примери (Табела 37) су настали на основу познатог *benchmark* примера *Brandimarte* (1993), који представља један од најпопуларнијих примера за проблем *FJS*. Овај пример је модификован према следећем упутству аутора (*Gong et al.*, 2018). За сваку операцију  $O_{ij}$  додељен је скуп расположивих машина  $M_k$  и скуп расположивих радника  $W_w$ . Времена реализације операција  $p_{ijkw}$  су генерисана помоћу нормалне расподеле. Посматрани примери су били делимично флексибилни у погледу машина<sup>53</sup>, и потпуно флексибилни у погледу радника<sup>54</sup>. За овај пример, због решавања проблема са *LIT* критеријумском функцијом, на

<sup>53</sup> Неке машине из скупа свих машина су расположиве за извршавање појединих операција.

<sup>54</sup> Сви радници су расположиви за извршавање операција обраде производа на машинама.

случајан начин уз одређена ограничења<sup>55</sup> су генерисани подаци о роковима за завршетак појединачних производа

**Табела 37:** *Benchmark* примери коришћени у анализи предложене хеуристике

Назив примера	Број производа	Број операција	Број машина	Број радника
<i>DFJSP 01</i>	10	55	6	3
<i>DFJSP 02</i>	10	58	6	3
<i>DFJSP 03</i>	15	150	8	3
<i>DFJSP 04</i>	15	90	8	3
<i>DFJSP 05</i>	15	106	4	3
<i>DFJSP 06</i>	10	150	15	3
<i>DFJSP 07</i>	20	200	5	3
<i>DFJSP 08</i>	20	225	10	3
<i>DFJSP 09</i>	20	240	10	3
<i>DFJSP 10</i>	20	240	15	3

Пре саме примене развијене хеуристике, потребно је дефинисати параметре хеуристике генетски алгоритми, који су коришћени у процесу рачунарске симулације и добијању решења. Параметри су представљени у Табели 38: *Crossover* стопа ( $p_{crossover}$ ) представља број јединки у популацији који ће разменити генетски материјал; стопа мутације ( $p_{mutation}$ ) представља број јединки у популацији који ће мутирати; стопа мутације гена ( $p_{gene\ mutation}$ ) представља број гена јединке који ће бити промењени; величина популације ( $N$ ) на који су примењени генетски алгоритми; број генерација стварања нових популација, што је уједно и представљало критеријум заустављања предложеног алгоритма.

**Табела 38:** Параметри симулације хеуристике генетски алгоритми

Параметри	Вредности				
<i>Crossover</i> стопа	0,15	0,3	0,5	0,7	0,9
Стопа мутације популације	0,15	0,3	0,5	0,7	
Стопа мутације гена	0,15	0,3	0,5	0,7	
Величина популације	200	400	600		
Број генерација	300				

У сврху упоређивања најбоље остварених вредности критеријумске функције, најпре је примењена обична хеуристика генетски алгоритми према критеријуму

<sup>55</sup> На примеру *DFJSP01*, међу 10 производа, рок за завршетак три производа је био у интервалу између [ $min C_j$ ;  $C_{max}$ ], рок за завршетак друга три производа био је  $> C_{max}$ , рок за завршетак остала четири производа је био око  $C_{max}$  са одступањем једне до две временске јединице. Вредности  $C_{max}$  и  $C_j$  генерисане су симулацијом са почетном хеуристиком у десет решавања.

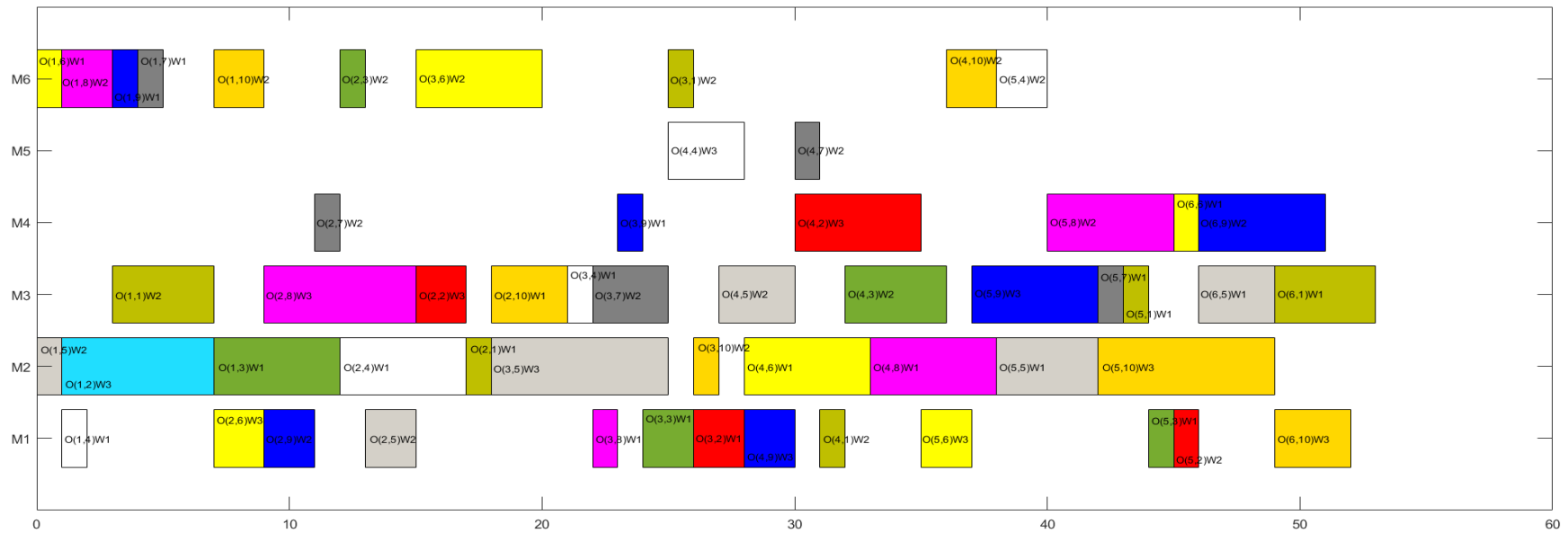
$C_{max}$ . Подаци о најбоље оствареним вредностима критеријумске функције  $C_{max}$  су дати у Табели 39. Резултати приказују задате *benchmark* примере (*DFJSP01-10*), затим параметре коришћене у генетском алгоритму са којима је добијено најбоље постигнуто решење, и вредност почетног решења добијеног преко конструктивне хеуристике *Ini-PopGen* (*Al-Hinai & ElMekkawy, 2011; Ahmadi et al., 2016*), вредности најбољих решења добијених применом хеуристике генетски алгоритми, као и генерација у којој је добијено најбоље решење. Приказ резултата хеуристике по једном критеријуму  $C_{max}$  имао је за циљ да прикаже достигнуте минимуме како би се упоредио квалитет достигнутих решења за хеуристику *NSGA-II*.

**Табела 39:** Табела са резултатима хеуристике<sup>56</sup> која је развијена у дисертацији

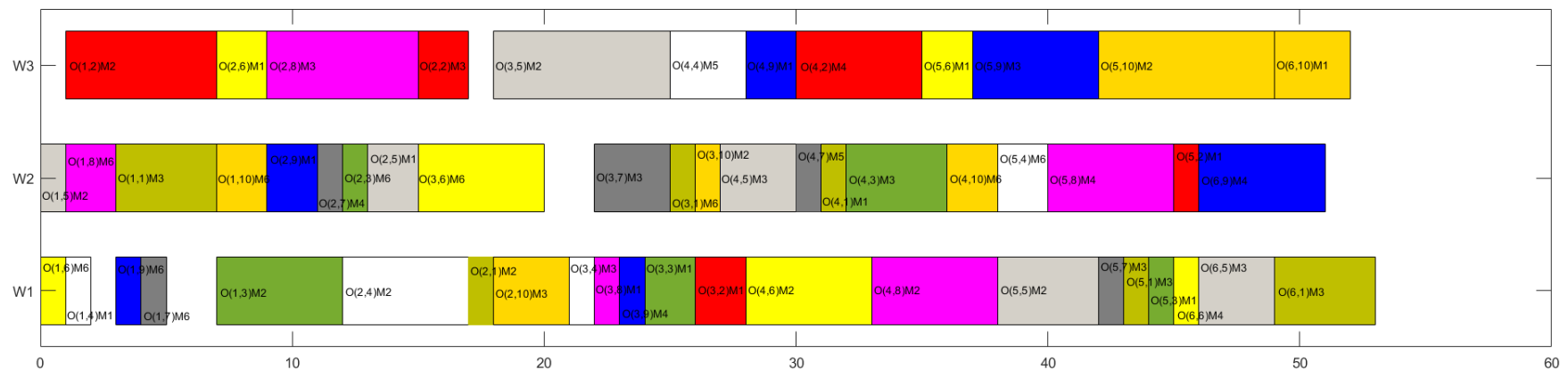
Пример	Параметри генетских алгоритама				Почетно решење ( $C_{max}$ )	Најбоље постигнуто решење ( $C_{max}$ )	Генерација постигнутог решења
	$P_{crossover}$	$P_{mutation}$	$P_{gene\ mutation}$	$N$			
DFJSP 01	0,5	0,15	0,15	600	52	<b>51</b>	39
	0,5	0,5	0,7	600	53	<b>51</b>	45
DFJSP 02	0,7	0,15	0,5	400	43	<b>42</b>	170
	0,7	0,3	0,7	600	43	<b>42</b>	41
DFJSP 03	0,5	0,5	0,15	200	287	<b>277</b>	167
DFJSP 04	0,5	0,5	0,3	400	115	<b>110</b>	127
DFJSP 05	0,5	0,7	0,3	600	229	<b>225</b>	277
DFJSP 06	0,5	0,7	0,3	600	116	<b>113</b>	85
DFJSP 07	0,7	0,5	0,5	600	230	<b>223</b>	55
DFJSP 08	0,7	0,5	0,15	600	867	<b>839</b>	134
DFJSP 09	0,5	0,3	0,7	600	747	<b>736</b>	105
	0,9	0,3	0,5	600	748	<b>736</b>	293
DFJSP 10	0,9	0,7	0,15	600	614	<b>607</b>	50

Приказ једног решења за проблем *DFJSP01* представљен је помоћу гантограма приказаног по машинама (Слика 60) и по радницима (Слика 61). На основу приказа ових гантограма, примећује се много већа ангажованост радника од машина. То је очигледна последица мање расположивости једног производног ресурса (радника) у односу на други (машине).

<sup>56</sup> За ове резултате коришћена је хеуристика генетски алгоритми са критеријумском функцијом ( $C_{max}$ ) развијена у окружењу за нумеричке прорачуне и програмском језику *MatLab* (енгл. *Matrix Laboratory*) која је развила компанија *MathWorks* у верзији програма *MATLAB 2016b*. Извршавање алгоритма је реализовано на рачунару *Intel® Core™ i7-5500U CPU @2.40GHz* са *8,00GB RAM*



Слика 60: Гантограм за пример решења проблема *DFJSP01*– приказ по машинама



Слика 61: Гантограм за пример решења проблема *DFJSP01* – приказ по радницама



Даље се представљају резултати за хеуристику *NSGA-II*<sup>57</sup>, према следеће две критеријумске функције: временски тренутак завршетка обраде свих производа  $C_{max}$ , и апсолутна вредност укупног одступање од рока завршетка свих производа ( $JIT = \sum(|E_j|+|T_j|) = \sum(|C_j - d_j|)$ ). У анализи *JIT* критеријума коришћени су параметри рокова завршетка појединих производа који су претходно објашњени. Добијене вредности резултата за хеуристику *NSGA-II*, за решавање проблема *DRCFJS*, представљене су у Табели 40. За сваки пример *DFJSP01-10* структура резултата је обухватила следеће:  $p_{crossover}$  (стопа размене генетског материјала),  $p_{mutation}$  (стопа мутације),  $p_{gene\ mutation}$  (стопа мутације гена),  $N$  (величина популације), вредности критеријума почетних решења, опсег вредности недоминираних решења<sup>58</sup>, генерација добијеног решења, број недоминираних решења. Поређењем резултата почетне конструктивне хеуристике и метахеуристике генетски алгоритми (Табела 39), примећује се значајно унапређење у погледу вредности критеријумске функције  $C_{max}$ . Такође, поређењем почетних резултата и крајњих резултата хеуристике *NSGA-II* (Табела 40) примећује се значајно унапређење у погледу вредности критеријумске функције  $C_{max}$  и критеријумске функције *JIT*. На примеру *DFJSP01* (Табела 40), помоћу *NSGA-II* хеуристике постигнуто је побољшање почетних вредности решења за вредности критеријумских функција: време завршетка обраде свих производа са  $C_{max} = 53$ , на  $C_{max} = 51$  временских јединица; за одступања од рокова завршетка вредности су смањене са  $JIT = 55$  на  $JIT = 10$  временских јединица. Поред значајног побољшања вредности критеријума ( $C_{max}$  и *JIT*), *NSGA-II*, хеуристика генерише велики број различитих недоминираних решења које доносиоцу одлуке, менаџеру, планеру производње или власнику МСП, пружају могућност избора који нуде компромис између временског тренутка завршетка обраде свих производа и критеријума који мери одступање од рока завршетка. Такође, ова хеуристика из итерације у итерацију врши систематски избор решења (јединки у популацији) чиме се постиже

<sup>57</sup> Хеуристика *NSGA-II* је развијена у окружењу за нумеричке прорачуне и програмском језику *MatLab* која је развила компанија *MathWorks* у верзији програма *MATLAB* 2016b. Извршавање алгоритма је реализовано на рачунару *Intel® Core™ i7-5500U CPU @2.40GHz* са *8,00GB RAM*

<sup>58</sup> Имајући у виду да је добијен велики број решења на граници ефикасности (најбоље познати Парето фронт), представљене су само оне вредности решења на крајевима границе ефикасности са  $\min C_{max}$  и  $\min JIT$ . За сваки пример *DFJSP01-10*, болдоване су вредности где су достигнути минимуми за функције  $C_{max}$  и *JIT*.

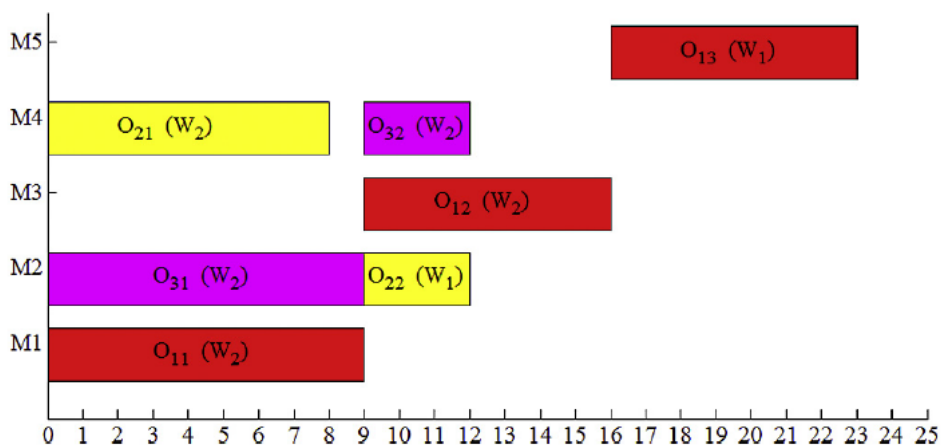
побољшање за оба разматрана критеријума (то се може уочити поређењем почетног решења и крајњег најбољег решења по оба критеријума,  $C_{max}$  *JIT*, Табела 40 за све анализирание примере (*DFJSP01-10*)).

**Табела 40:** Табела са најбољим резултатима хеуристике *NSGA-II*

Пример	Параметри генетских алгоритама				Вредности почетних решења				Опсег вредности на граници ефикасности				Генерација добијеног решења	Број недоминираних решења
	$P_{crossover}$	$P_{mutation}$	$P_{gene\ mutation}$	$N$	$C_{max}$	<i>JIT</i>	$C_{max}$	<i>JIT</i>	$C_{max}$	<i>JIT</i>	$C_{max}$	<i>JIT</i>		
<i>DFJSP 01</i>	0,7	0,7	0,15	600	53	88	58	55	<b>51</b>	59	57	10	294	356
	0,9	0,15	0,15	600	53	85	55	46	<b>51</b>	67	58	13	290	298
	0,15	0,3	0,3	600	54	77	56	50	52	83	57	<b>3</b>	288	250
<i>DFJSP 02</i>	0,3	0,3	0,3	600	43	64	48	37	<b>41</b>	62	51	5	256	356
	0,3	0,7	0,15	600	43	49	46	36	43	39	52	<b>3</b>	237	439
<i>DFJSP 03</i>	0,9	0,7	0,3	600	286	240	301	74	284	157	296	<b>26</b>	170	516
	0,9	0,3	0,15	600	285	238	303	78	<b>278</b>	271	304	48	290	479
<i>DFJSP 04</i>	0,5	0,5	0,3	600	113	137	122	50	<b>110</b>	110	120	12	300	384
	0,7	0,5	0,3	600	115	142	122	52	115	29	120	<b>7</b>	290	303
<i>DFJSP 05</i>	0,5	0,15	0,15	600	227	376	253	110	<b>227</b>	297	250	50	264	389
	0,9	0,3	0,15	600	228	384	249	108	228	360	251	<b>22</b>	277	330
<i>DFJSP 06</i>	0,3	0,7	0,15	600	115	68	122	18	<b>113</b>	75	122	9	133	495
	0,5	0,5	0,15	600	117	64	123	18	117	59	122	<b>5</b>	189	437
<i>DFJSP 07</i>	0,7	0,5	0,3	600	230	723	263	267	<b>225</b>	712	264	89	294	471
	0,9	0,5	0,3	600	231	651	256	244	230	589	262	<b>66</b>	293	495
<i>DFJSP 08</i>	0,9	0,15	0,15	600	872	2358	938	1505	867	2199	994	<b>155</b>	288	514
	0,5	0,5	0,15	600	870	2399	922	1387	<b>850</b>	2153	981	193	286	528
<i>DFJSP 09</i>	0,7	0,5	0,15	600	750	1262	786	626	749	1210	834	<b>118</b>	300	440
	0,9	0,5	0,15	600	742	1509	801	545	<b>738</b>	1428	817	168	300	540
	0,9	0,7	0,3	600	752	1342	791	542	746	1041	824	<b>118</b>	280	444
<i>DFJSP 10</i>	0,9	0,5	0,15	600	618	1007	646	414	613	839	666	<b>72</b>	284	463
	0,9	0,5	0,3	600	612	1129	650	455	<b>609</b>	1060	659	152	274	509
	0,9	0,5	0,5	600	610	1088	652	459	<b>609</b>	921	662	111	299	508

Намера аутора је била да добијене резултате над узетим *benchmark* проблемом упоредимо са хеуристиком коју су развили (*Gong et al., 2018*), али су ти аутори упркос опису проблема *DRCFJS*, касније решавали проблем у коме су уместо расположивих радника посматрали потребне вештине за обављање одређених операција на одређеним машинама. На тај начин у реализацији њихових операција, коришћени су различити радници са истим вештинама што је добило

смисао паралелизације радника у реализацији појединих операција. Самим тим је ограничење расположивих радника изгубило смисао (у свим примерима *DFJSP01-10*, била су расположива само три радника). Као доказ, представља се Слика 62 једно решење из рада (*Gong et al., 2018*). На Слици 62 примећује се паралелизација радника  $W_2$  на машини  $M_4$  (операција  $O_{21}$ ) и машини  $M_2$  (операција  $O_{31}$ ). Због тога резултати која су *Gong et al. (2018)* добили за „исте“ примере проблема *DRCFJS* у раду нису упоредива са добијеним решењима у овој докторској дисертацији.



Слика 62: Решење у виду гантограма представљено у раду

Извор: *Gong et al. (2018, стр. 566)*

На основу приказаних резултата у примени метахеуристике *NSGA-II*, на проблему *DRCFJS*, проблему распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП, и добијања бољих решења, у поређењу са конструктивном почетном хеуристиком, може се потврдити предложена појединачна хипотеза. **X(2.3.5):** *Развојем методе за решавање проблема распоређивања и терминирања, могуће је унапредити процес оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП.*

## 5.7. Развој модела подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП

Резултати истраживања о нивоу развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП, указали су на потребу за подршком МСП у овој области кроз примену софистицираних метода. Такође, уочена је потреба за развојем концептуалног модела подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима који би за циљ имао побољшавање стања МСП – како успешности самог процеса планирања производње и управљања ресурсима, тако и шире – целокупног пословања. Модел подршке ОПП и УР креиран у дисертацији се надовезује на модел планирања адекватне подршке МСП који је описан у раду (*Rakićević et al.*, 2016a), представљен на Слици 63, кроз модел који се састоји од осам фаза:

1. *Истражити проблем МСП* – урадити прецизну дијагнозу стања, проблема и потреба МСП. Неопходно је прецизно дефинисати проблем, јер погрешно дефинисан проблем може довести до неефективности целог система подршке, те је, стога ова фаза од круцијалне важности за даљи процес, не само планирања, већ и реализације подршке;
2. *Дефинисати циљ који се жели постићи подршком* – јер, из добро дефинисаног проблема МСП, могу се одредити и сврха и компонентни циљеви пружања подршке. Приликом разматрања циљева, могу се узети у обзир и очекивања стејкхолдера МСП;
3. *Дефинисати одговарајућу структуру и карактеристике подршке која се жели спровести* – у овој фази се, уз поштовање принципа усаглашености са проблемима и потребама МСП, прецизно дефинише облик подршке који се намерава пружити МСП;
4. *Дефинисати неопходне ресурсе за спровођење подршке* – по врстама и количинама, уз дефинисање и динамике потреба за ресурсима ради спровођења подршке. Један од циљева је остварити највећи ефекат подршке уз рационалну употребу ресурса;
5. *Дефинисати интензитет подршке која се намерава реализовати* - у складу са потребама МСП и ресурсним ограничењима;
6. *Дефинисати индикаторе за праћење резултата подршке и остварености*

планираног - Мерљиви индикатори могу бити: а) степен остварености плана, али и б) степен искоришћења ресурса, в) степен задовољења потребе за подршком; г) степен задовољства конкретних стејхолдера и сл.;

7. *Спровести подршку* – фаза реализације пружа информацију о оправданости процеса планирања подршке. Поред тога идеје за унапређивање процеса планирања подршке долазе из фазе реализације;
8. *Анализирати индикаторе успешности у пружању подршке* – након спроведене подршке, анализирају се индикатори којима се мери успешност планиране и пружене подршке; уколико су резултати испунили очекивања, може се констатовати да је подршка била успешна, односно да је планирање испунило циљ.



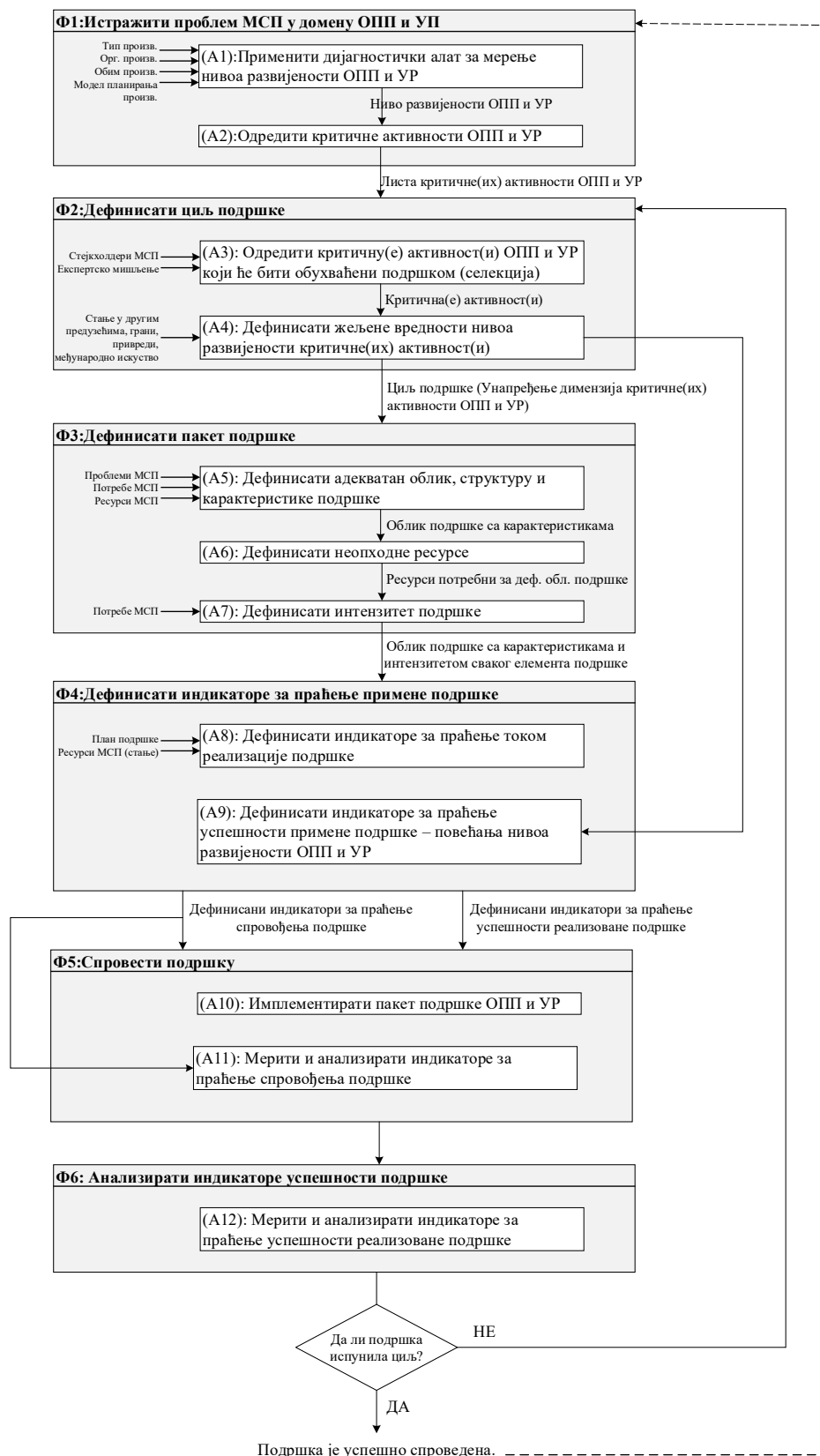
**Слика 63:** Осам фаза успешног планирања подршке МСП

**Извор:** *Rakićević et al.* (2016а, стр. 38)

Након завршеног циклуса планирања подршке, који се састоји од осам фаза, потребно је дефинисати даље акције – јер се процес пружања подршке МСП, након завршеног (успешног или неуспешног) циклуса планирања, најчешће, не завршава, већ се дефинишу нове акције пружања подршке - ка даљем решавању

проблема МСП и побољшавању његове успешности. По аналогији са методологијом планирања адекватне подршке МСП (*Rakićević et al., 2016a*), дефинише се концептуални модел подршке МСП у домену оперативног планирања производње (ОПП) и управљања ресурсима (УР). Модел је представљен на Слици 64 и састоји се од дванаест активности подељених у шест фаза (Ф1-Ф6):

- **Ф1: Истражити проблем МСП у домену ОПП и УР.** Ова фаза започиње са активностима примене дијагностичког алата за мерење нивоа развијености ОПП и УР. Вредности које су добијене у дијагностичком алату служе за идентификацију проблема у појединим активностима планирања. Поред информација из дијагностичког алата, користе се и подаци о типу производње, организацији производње, обиму производње и моделу планирања производње. Резултати добијени на основу дијагностичког алата, у виду нивоа развијености ОПП и УР у МСП треба да укажу на критичне активности у овој области. Излаз из ове фазе представља листу критичних активности које ће се користити као инпути у наредну фазу селекције;
- **Ф2: Дефинисати циљ подршке.** Ова фаза се састоји од избора критичне активности или критичних активности које се желе унапредити и које треба да буду обухваћене подршком. У избору критичних активности могу помоћи експерти, а шире – и све заинтересоване стране (енгл. *stakeholders*) једног МСП. Након избора критичних активности (А3), одређују се жељене вредности нивоа развијености ОП и УР по појединим димензијама (свеобухватност процеса ОПП и формализам у изради планова, ниво организованости, софистицираност и примена метода, ниво интегрисаности, ниво квалификованости). Приликом дефинисања жељених вредности димензија нивоа развијености за изабране критичне активности (А4), вредности за поређење (енгл. *benchmark*) могу бити добијене на основу стања развијености у другим конкурентним предузећима, просека у грани – делатности, привреди, али и на основу међународног искуства. Излаз из ове фазе представља дефинисан циљ подршке (који се огледа у постизању унапређења димензија нивоа развијености критичних активности ОПП и УР), и представља улаз у наредну фазу модела подршке.



Слика 64: Предложени модел подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП

- **Ф3: Дефинисати пакет подршке.** На основу дефинисаних циљева подршке прелази се на дефинисање пакета подршке. Пакет подршке подразумева скуп појединачних услуга подршке чија сврха је унапређење нивоа развијености критичних активности а тиме и испуњење жељеног и дефинисаног циља. У овој фази најпре се полази од активности дефинисања адекватног облика, структуре и карактеристика подршке<sup>59</sup> (А5). Ови елементи подршке, која се намерава пружити, потребно је да буду усаглашени са проблемима, потребама и расположивим ресурсима МСП. Резултат ове активности је дефинисан облик подршке за који је потребно дефинисати неопходне ресурсе (А6). Под ресурсима можемо подразумевати дефинисање потребних физичких ресурса (средстава за рад, машине, опрема, материјал), финансијских ресурса (новац и капитал), људских ресурса, нематеријалних ресурса (знање, искуство, *know-how*, информације, идеје), организациони ресурси (принципи организовања: организациона структура и процеси, организациона култура), који треба да буду посредници у имплементацији предложеног система подршке. Такође, потребно је сагледати и неопходне људске ресурсе за обуку за коришћење тог система. Дефинисани потребни ресурси, уз оне који су расположиви у МСП, утичу на одређивање интензитета будуће подршке (А7). Крајњи резултат ове фазе је специфициран облик подршке са својом структуром, карактеристикама, као и интензитетом сваког елемента подршке;
- **Ф4: Дефинисати индикаторе за праћење примене подршке.** Након дефинисаног пакета подршке потребно је дефинисати индикаторе за праћење реализације и успешности подршке. Активност дефинисања индикатора праћења подршке током реализације (А8) мора бити у складу са дефинисаним планом подршке, али и дефинисаним обликом, карактеристикама и интензитетом подршке. Независна активност у оквиру ове фазе је дефинисање индикатора за праћење успешности примене подршке (А9). Дефинише се скуп индикатора помоћу ког се на адекватан начин може пратити успешност реализоване подршке која треба да доведе до повећања

---

<sup>59</sup> За детаљније видети опис карактеристика подршке у делу докторске дисертације „3.2. Подршка малим и средњим предузећима“



нивоа развијености ОПП и УР. Ова активност је у блиској вези са активношћу А4 која дефинише жељене вредности нивоа развијености, по којима би вредности индикатора требало да буду складни са жељеним вредностима нивоа развијености. Због тога, А4 представља улаз и у А9 четврте фазе;

- **Ф5: Спровести подршку.** Наредна фаза реализације односи се на процес спровођења предложеног облика подршке која је резултат свих претходних фаза планирања и организације подршке. Дефинисани пакет подршке се у овој фази имплементира (А10) и врши се мерење и анализа индикатора за праћење спровођења подршке (А11). Вредности ових индикатора треба да укажу на процес адекватног спровођења подршке, и да укажу на динамику спровођења подршке;
- **Ф6: Анализирати индикаторе успешности подршке.** Ова фаза има основну улогу у реализацији активности мерења и анализе индикатора за праћење успешности реализоване подршке (А12). Вредности ових индикатора треба да покажу да ли је подршка испунила циљ и да су перформансе у процесу производње побољшане (време чекања на реализацију производних операција, прекорачење рокова завршетка и испоруке, време трајања производног циклуса, укупна оптерећеност машина и радника и сл.). Уколико подршка не испуни циљ који је дефинисан, потребно је вратити се на фазу дефинисања циља подршке (Ф2). Уколико циљ подршке јесте испуњен, оставља се могућност преласка на нови циклус пружања подршке, повратком на прву фазу истраживања проблема МСП, након чега би било поновљено спровођење свих шест фаза модела.

Дакле на основу представљеног модела са шест фаза (Слика 64) и његовог детаљног описа појединачних активности (А1 до А12) може се додатно потврдити предложена хипотеза **Х(2.2):** *Могуће је дефинисати концепт подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима МСП.*

## 6. ЗАКЉУЧАК

У докторској дисертацији представљена је област оперативног планирања производње и управљања ресурсима у малим и средњим предузећима, као и подршка том процесу. Прво су обједињене теоријске поставке које се односе на тему истраживања: Мала и средња предузећа са њиховим карактеристикама и специфичностима; подршка малим и средњим предузећима; процес планирања производње и управљање ресурсима. Имајући у виду да је централно место истраживања у докторској дисертацији процес оперативног планирања производње, он је детаљније описан кроз свој домен, заједно са доменом управљања ресурсима. Представљени су основни планерски проблеми (проблем распоређивања, проблем терминирања, проблеми планирања међуоперацијских залиха и проблеми одређивања дужине трајања оперативног периода). Након тога, представљени су начини за решавање ових проблема. Описане су и неке од метода намењене његовом решавању: Правила приоритета у распоређивању; хеуристика премештања уских грла; метода локалног претраживања; симулирано каљење; табу претраживање; генетски алгоритми и метода променљивих околина. Посебан део докторске дисертације представља креативни допринос у дефинисању појма развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима, као и начина, тј. дијагностичког алата за мерење истог. Анализирана је и специфичност оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП, кроз сагледавање проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима.

Након теоријских поставки, дат је преглед литературе из истраживаних области. Кроз систематску претрагу радова из научних часописа, селектована је и прегледана група од 107 научних радова. У прегледу литературе представљена је квантитативна и квалитативна анализа селектованих радова. На основу прегледа литературе пружен је критички осврт, у коме су представљене идеје и предлози за унапређивање решавања проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП.

Главни допринос докторске дисертације представљају:

- Систематизација научних сазнања и објављених истраживања у проучаваним

областима (оперативно планирање производње и управљање ресурсима у МСП, подршка МСП, проблем *Job Shop*).

- Критички осврт на анализирани приступе и релевантна решења посматраних проблема у проучаваним областима, ради провере тзв. истраживачких „пукотина“ или простора за које још увек није дат научно-истраживачки допринос;
- Дефинисање појма развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП;
- Дефинисање дијагностичког алата, у облику истраживачког упитника, који за циљ има мерење нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП, као и утврђивање потреба МСП за унапређивањем процеса оперативног планирања;
- Спровођење истраживања, међу предузећима у Републици Србији, ради мерења и поређења нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП и великим предузећима. Обрада прикупљених података као и тестирање дефинисаних хипотеза;
- Унапређивање решавања проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње (конкретно проблема *DRCFJS*, са критеријумском функцијом:  $C_{max}$  – време завршетка обраде свих распоређених производа и  $\sum(|E_j|+|T_j|)$  – збир апсолутних вредности одступања завршетка сваког од производа од његовог рока за завршетак), применом метахеуристике генетски алгоритам брзог сортирања недоминираних решења *NSGA-II*;
- Дефинисање методолошког оквира, у форми шестофазног концептуалног модела подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП.

У развоју хеуристике *NSGA-II*, за подршку решавању проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП (проблем *Dual Resource Constrained Flexible Job Shop - DRCFJS*), аутор дисертације се базирао на раду (*Ahmadi et al., 2016*), у којем је развијена хеуристика исте врсте али за проблем *Flexible Job Shop*. Аутор дисертације је извршио и додатне модификације и унапређења које се даље наводе:

1. Проблем је проширен посматрањем додатног ресурса, расположивих радника (са *FJS* на *DRCFJS*);
2. Модификација и унапређење је извршено у почетној хеуристици *Ini-PopGen* која врши додељивање операција машинама и радницима према временском тренутку када ће ресурси бити расположиви за додељивање;
3. Трећа модификација хеуристике и проблема распоређивања у односу на аутора (*Ahmadi et al.*, 2016) се односила на још једну критеријумску функцију. Поред  $C_{max}$  (време завршетка обраде свих производа) коришћена је тзв. *Just-in-Time* функција  $\sum(|E_j|+|T_j|)$ , што представља апсолутну вредност одступања завршетка обраде производа од предвиђених времена тј. рокова за завршетак. Поред важности које има критеријум  $C_{max}$ , чија вредност је потребно да буде што мања, изузетну важност има и други предложени критеријум  $\sum(|E_j|+|T_j|)$ , чија је сврха да мери правременост у завршетку обраде појединих производа. Одступање од рока завршетка може генерисати сувишне залихе, нагомилавање завршеног посла или прекорачења рока испоруке која воде додатним трошковима према купцима и корисницима. Применом две критеријумске функције проблем је моделиран и решаван као вишекритеријумски.

У докторској дисертацији су дефинисане и проверене две посебне хипотезе и дванаест појединачних хипотеза.

Најпре је дефинисана општа хипотеза:  $X(0)$ : *Потребно је и могуће, системом подршке, побољшати оперативно планирање производње и управљање ресурсима у малим и средњим предузећима, а из ње су изведене посебне хипотезе:*

**$X(1)$ :** *Малим и средњим предузећима је потребна подршка у домену оперативног планирања производње и управљања ресурсима.*

**$X(2)$ :** *Могуће је, путем подршке, унапредити оперативно планирање производње и управљање ресурсима у МСП.*

Посебна хипотеза  $X(1)$  се проверава преко четири појединачне хипотезе:  $X(1.1)$ ,  $X(1.2)$ ,  $X(1.3)$ ,  $X(1.3)$ :

**$X(1.1)$ :** *Могуће је дефинисати специфичности производних малих и средњих предузећа и њихове савремене карактеристике.*

Ова хипотеза је потврђена, теоријским прегледом заједничких карактеристика производних МСП у делу „3.1. Појам малих и средњих предузећа“.

**X(1.2):** *Могуће је дефинисати домен оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП.*

Хипотеза X(1.2) је потврђена теоријским прегледом и дефинисањем домена оперативног планирања производње у деловима: „4.4. Домен оперативног планирања производње“; „4.5. Проблеми у оперативном планирању производње у управљању ресурсима“

**X(1.3):** *Оперативно планирање и управљање ресурсима у МСП, у пракси, није на адекватном нивоу развијености.*

Ова хипотеза је потврђена на основу истраживања које је спроведено на узорку од 79 производних предузећа у Републици Србији. Мерењем Ликертовом скалом кроз пет димензија, показано је да МСП имају нижи ниво развијености од великих предузећа.

**X(1.4):** *Постоји потреба МСП за подршком у области оперативног планирања и управљања ресурсима.*

Један део питања из истраживачког упитника односио се на мерење потребе за подршком у области оперативног планирања производње и управљања ресурсима. На основу директног питања о потребној подршци није показана статистички значајна разлика између МСП и великих предузећа али резултат мерења нивоа развијености, и резултати свих појединачних димензија нивоа развијености указују на потребу за подршком. Стога се сматра да је хипотеза X(1.4) потврђена.

Потврђивањем хипотеза X(1.1), X(1.2), X(1.3) и X(1.4) потврђена је посебна хипотеза **X(1):** *Малим и средњим предузећима је потребна подршка у домену оперативног планирања производње и управљања ресурсима.*

Друга посебна хипотеза X(2): *Могуће је, путем подршке, унапредити оперативно планирање производње и управљање ресурсима у МСП, се проверава преко три појединачне хипотезе на трећем нивоу (X(2.1); X(2.2); X(2.3)) и пет појединачних хипотеза на четвртном нивоу (X(2.3.1); X(2.3.2); X(2.3.3); X(2.3.4)).*

**X(2.1):** *Научно окружење располаже идејама и алатима за побољшање оперативног планирања производње и управљања ресурсима.*

Представљањем метода за решавање проблема у оперативном планирању производње и управљању ресурсима у делу „4.6. Решавање проблема у оперативном планирању производње и управљању ресурсима“ и у делу „5.1. Подршка решавању проблема распоређивања и терминирања у МСП“, систематизован је добар део метода заснованих на хеуристикама које су намењене решавању овог проблема. На тај начин може се потврдити хипотеза Х(2.1).

**Х(2.2):** *Могуће је дефинисати концепт подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима МСП.*

У докторској дисертацији концепт подршке је дефинисан двојачко, преко активности подршке које имају своје карактеристике и које треба да допринесу унапређењу стања процеса оперативног планирања производње, као и преко метода за подршку у решавању проблема оперативног планирања производње и распоређивања и терминирања. У делу докторске дисертације „5.1. Подршка решавању проблема распоређивања и терминирања у МСП“ дефинисан је концепт подршке. Поред тога у делу „5.7. Развој модела подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП“ дефинисан је модел подршке у прилог потврђивању хипотезе Х(2.2).

**Х(2.3):** *Проблем распоређивања и терминирања представља један од значајних проблема у оперативном планирању производње, чијим адекватним решавањем је могуће унапредити оперативно планирање производње и управљање ресурсима.*

Наведена посебна хипотеза је даље декомпонована на неколико следећих појединачних хипотеза (Х(2.3.1); Х(2.3.2); Х(2.3.3); Х(2.3.4)) које су провераване:

**Х(2.3.1):** *Могуће је дефинисати проблем распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње МСП.*

Ова појединачна хипотеза је потврђена у деловима: „4.5.2. Проблем распоређивања и оперативно планирање производње“, и „4.5.3. Проблем терминирања и оперативно планирање производње“. Посебно су описани проблеми *Job Shop* са својим проширењима *Flexible Job Shop* и *Dual Resource Constrained Flexible Job Shop* проблеми у делу „4.7. Специфичности оперативног планирања производње у МСП“.

**Х(2.3.2):** *Могуће је моделовати проблем распоређивања и терминирања у*

*оперативном планирању производње МСП.*

У делу „4.7.2. Математички модели проблема *Job Shop*“, приказани су модели мешовитог целобројног програмирања за проблеме: *Job Shop*, *Flexible Job Shop* и *Dual Resource Constrained Flexible Job Shop*, уз описивање бројних додатних параметара који се могу користити у моделовању проблема и одређивању критеријума успешности решавања. Тиме је потврђена предложена појединачна хипотеза X(2.3.2).

**X(2.3.3):** *Могу се дефинисати критеријуми за мерење успешности решавања проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње МСП.*

У сврху доказивања предложене хипотезе, велики број критеријумских функција дефинисан је у делу „4.6.1. Категоризација проблема распоређивања и терминирања, специфичности означавања“, чиме је предложена појединачна хипотеза потврђена

**X(2.3.4):** *Постоје различити приступи за решавање проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње МСП.*

У делу „4.6.3. Методе решавања проблема распоређивања и терминирања“, наведени су приступи у решавању а у делу „5.1. Подршка решавању проблема распоређивања и терминирања у МСП“, представљен је велики број метода за решавање из група: једноставне хеуристике тј. правила приоритета у решавању, конструктивне хеуристике и метахеуристике. Тиме се сматра хипотеза X(2.3.4) потврђеном.

**X(2.3.5):** *Развојем методе за решавање проблема распоређивања и терминирања, могуће је унапредити процес оперативног планирања производње и управљања ресурсима у МСП.*

Представљањем примене метахеуристике *NSGA-II*, у решавању проблема *DRCFJS*, у делу „5.6. Унапређивање решавања проблема распоређивања и терминирања у оперативном планирању производње“, показано је да се добијају решења (распореди) који имају ниже вредности функција  $C_{max}$ , од конструктивне хеуристике. Имплементирана хеуристика *NSGA-II*, проблем распоређивања са управљањем производним ресурсима, врло успешно решава и са два критеријума

$(C_{max}, \sum(|E_j|+|T_j|))$  генерисањем великог броја недоминираних решења. На основу тога хипотеза X(2.3.5) је потврђена.

Потврђивањем хипотеза X(2.3.1), X(2.3.2), X(2.3.3), X(2.3.4), и X(2.3.5) доказана је посебна хипотеза X(2.3).

Доказивањем хипотеза X(2.1), X(2.2) и X(2.3), доказана је посебна хипотеза **X(2)**: *Могуће је, путем подршке, унапредити оперативно планирање производње и управљање ресурсима у МСП.*

На основу потврђених хипотеза X(1) и X(2), може се доказати општа хипотеза X(0): *Потребно је и могуће, системом подршке, побољшати оперативно планирање производње и управљање ресурсима у малим и средњим предузећима.*

Дефинисаним и оствареним доприносима докторска дисертација пружа могућност за практичну примену у пословању малих и средњих предузећа: применом модела подршке оперативном планирању производње и управљању ресурсима у МСП; применом предложене методе (NSGA-II) за решавање проблема распоређивања и терминирања у производњи малог обима.

Правац даљих истраживања аутора ове докторске дисертације у овој области односиће се на примену представљеног концептуалног модела и истраживање ефеката пружене подршке МСП. Такође, идеја будућег истраживања је и примена предложене методе решавања проблема распоређивања и терминирања у пракси малих и средњих предузећа, са реалним подацима из производне праксе, у циљу повећавања њихове ефикасности и успешности. Стални истраживачки циљ је проналажење нових и унапређење постојећих метода решавања проблема оперативног планирања производње и управљања ресурсима.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Abdeljaouad, M. A., Bahroun, Z., Omrane, A., & Fondrevelle, J. (2015). Job-shop production scheduling with reverse flows. *European Journal of Operational Research*, 244(1), 117–128.
2. Abdullah, S., & Abdolrazzagh-Nezhad, M. (2014). Fuzzy job-shop scheduling problems: A review. *Information Sciences*, 278, 380–407. <http://doi.org/10.1016/j.ins.2014.03.060>
3. Adams, J., Balas, E., & Zawack, D. (1988). The shifting bottleneck procedure for job shop scheduling. *Management Science*, 34(3), 391–401.
4. Adibi, M. A., Zandieh, M., & Amiri, M. (2010). Multi-objective scheduling of dynamic job shop using variable neighborhood search. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 282–287. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.001>
5. Ahmadi, E., Zandieh, M., Farrokh, M., & Emami, S. M. (2016). A multi objective optimization approach for flexible job shop scheduling problem under random machine breakdown by evolutionary algorithms. *Computers & Operations Research*, 73, 56-66.
6. Akker, M., & Hoogeveen, H. (2004). Minimizing the number of tardy jobs. In J. Y. T. Leung (Ed.), *Handbook of scheduling: Algorithms, models, and performance analysis*. Boca Raton, FL: Chapman and Hall/CRC Press.
7. Al-Hinai, N., & ElMekkawy, T. Y. (2011). An efficient hybridized genetic algorithm architecture for the flexible job shop scheduling problem. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 23(1), 64-85.
8. Allahverdi, A. (2016). A survey of scheduling problems with no-wait in process. *European Journal of Operational Research*, 255(3), 665–686. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.05.036>
9. Ansoff, H. I. (1965). *Corporate strategy: business policy for growth and expansion*. McGraw-Hill Book.
10. Antoniadis, I., Tsiakiris, T., & Tsopogloy, S. (2015). Business intelligence during times of crisis : Adoption and usage of ERP systems by SMEs. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 175, 299–307. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.1204>
11. Asadathorn, N. (1997). *Scheduling of assembly type of manufacturing systems: algorithms and systems developments*. Department of Industrial Engineering, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ.
12. Asadzadeh, L. (2015). A local search genetic algorithm for the job shop scheduling problem with intelligent agents. *Computers & Industrial Engineering*, 85, 376–383. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2015.04.006>
13. Audet, J., & St-Jean, E. (2007). Factors affecting the use of public support services by SME owners: evidence from a periphery region of Canada. *Journal of*

*Developmental Entrepreneurship*, 12(2), 165–180.

14. Augustine, B., Bhasi, M., & Madhu, G. (2013). *Influence of forecasting, planning and controlling on the performance of small and medium enterprises*. School of Engineering, Cochin University of Science and Technology.
15. Babarogić, S., Makajić-Nikolić, D., Lečić-Cvetković, D., & Atanasov, N. (2012). Multi-period customer service level maximization under limited production capacity. *International Journal of Computers Communications & Control*, 7(5), 802–811.
16. Bagheri, A., & Zandieh, M. (2011). Bi-criteria flexible job-shop scheduling with sequence-dependent setup times - Variable neighborhood search approach. *Journal of Manufacturing Systems*, 30(1), 8–15. <http://doi.org/10.1016/j.jmsy.2011.02.004>
17. Bai, D., Zhang, Z. H., & Zhang, Q. (2016). Flexible open shop scheduling problem to minimize makespan. *Computers and Operations Research*, 67, 207–215. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2015.10.012>
18. Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.
19. Beaver, G. (2002). *Small business, entrepreneurship and enterprise development*. Pearson Education.
20. Bennett, R. J., & Robson, P. J. A. (1999). The use of external business advice by SMEs in Britain. *Entrepreneurship & Regional Development*, 11(2), 155–180. <http://doi.org/10.1080/089856299283245>
21. Berry, A. J., Sweeting, R., & Goto, J. (2006). The effect of network relationship on the performance of SMEs. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 13(1), 33–47. <http://doi.org/10.1108/14626000610645298>
22. Bertolini, M., Romagnoli, G., Zammori, F., Bertolini, M., Romagnoli, G., Zammori, F., & Parma, U. (2017). 2MTO , a new mapping tool to achieve lean benefits in high-variety low-volume job shops shops. *Production Planning & Control*, 28(5), 444–458. <http://doi.org/10.1080/09537287.2017.1302615>
23. Błażewicz, J., Ecker, K. H., Pesch, E., Schmidt, G., & Weglarz, J. (2007). *Handbook on scheduling: from theory to applications*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, Springer Science & Business Media.
24. Blazewicz, J., Moseley, B., Pesch, E., Trystram, D., & Zhang, G. (2016). New challenges in scheduling theory. *Journal of Scheduling*, 19(6), 1–2. <http://doi.org/10.1007/s10951-016-0503-z>
25. Boter, H., & Lundström, A. (2005). SME perspectives on business support services: The role of company size, industry and location. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 12(2), 244–258. <http://doi.org/10.1108/14626000510594638>
26. Brandimarte, P. (1993). Routing and scheduling in a flexible job shop by tabu

- search. *Annals of Operations research*, 41(3), 157-183.
27. Briggs, S. R., & Cheek, J. M. (1986). The role of factor analysis in the development and evaluation of personality scales. *Journal of Personality*, 54(1), 106-148.
  28. Brush, C. G., Greene, P. G., Hart, M. M., & Edelman, L. F. (1997). Resource configurations over the life cycle of ventures. *Frontiers of Entrepreneurship Research*.
  29. Çaliş, B., & Bulkan, S. (2015). A research survey: review of AI solution strategies of job shop scheduling problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(5), 961–973. <http://doi.org/10.1007/s10845-013-0837-8>
  30. Canbolat, Y. B., & Gundogar, E. (2004). Fuzzy priority rule for job shop scheduling. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15(4), 527–533. <http://doi.org/10.1023/B:JIMS.0000034116.50789.df>
  31. Caramia, M., & Dell’Olmo, P. (2006). *Effective resource management in manufacturing systems: optimization algorithms for production planning*. Springer-Verlag London Limited.
  32. Chang, H., Chen, Y., Liu, T., & Chou, J. (2015). Solving the flexible job shop scheduling problem with makespan optimization by using a hybrid Taguchi-genetic algorithm. *IEEE Access*, 3, 1740–1754. <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2481463>
  33. Chaudhry, I. A., & Khan, A. A. (2016). A research survey: Review of flexible job shop scheduling techniques. *International Transactions in Operational Research*, 23(3), 551–591. <http://doi.org/10.1111/itor.12199>
  34. Chen, B., & Matis, T. I. (2013). A flexible dispatching rule for minimizing tardiness in job shop scheduling. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 360–365. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.08.019>
  35. Chen, J., Weng, W., Rong, G., & Fujimura, S. (2015). Integrating genetic algorithm with time control for just-in-time scheduling problems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 893–897. <http://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.196>
  36. Chirico, F. (2008). Knowledge accumulation in family firms evidence from four case studies. *International Small Business Journal*, 26(4), 433–462.
  37. Chrisman, J. J., & McMullan, E. W. (2004). Outsider assistance as a knowledge resource for new venture survival. *Journal of Small Business Management*, 42(3), 229–244. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-627X.2004.00109.x>
  38. Cohen, J.W. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences* (2<sup>nd</sup> edn.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
  39. Cox, J. F., & Blackstone, J. H. (2005). *American Production and Inventory Control Society (APICS) Dictionary* (11th editi). Amer Production & Inventory, USA.

40. Cumming, D. J., & Fischer, E. (2012). Publicly funded business advisory services and entrepreneurial outcomes. *Research Policy*, 41(2), 467–481. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2011.09.004>
41. Deb, K. (2001). *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms* (Vol. 16). John Wiley & Sons.
42. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197
43. Deep, A., Guttridge, P., Dani, S., & Burns, N. (2008). Investigating factors affecting ERP selection in made-to-order SME sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(4), 430–446. <http://doi.org/10.1108/17410380810869905>
44. Demir, Y., & Kürşat İşleyen, S. (2013). Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems. *Applied Mathematical Modelling*, 37(3), 977–988. <http://doi.org/10.1016/j.apm.2012.03.020>
45. DeVellis, R. F. (2011). *Scale development: Theory and applications* (Vol. 26). Sage Publications
46. Dowlatshahi, S., & Taham, F. (2009). The development of a conceptual framework for just-in-time implementation in SMEs. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 20(7), 611–621. <http://doi.org/10.1080/09537280903034305>
47. Drucker, P. (2012). *The new realities*. Routledge.
48. Eiben, A. E. (1991). *A method for designing decision support systems for operational planning*. Technische Universiteit Eindhoven. <http://dx.doi.org/10.6100/IR354562>
49. Elgendy, A. E., Hussein, M., & Elhakeem, A. (2017). Optimizing dynamic flexible job shop scheduling problem based on genetic algorithm. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 7(2), 368–373. Retrieved from <http://inpressco.com/category/ijcet>
50. Essafi, I., Mati, Y., & Dauzère-Pérès, S. (2008). A genetic local search algorithm for minimizing total weighted tardiness in the job-shop scheduling problem. *Computers and Operations Research*, 35(8), 2599–2616. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2006.12.019>
51. European Commission, Enterprise and Industry Publication. (2005). *The new SME definition – User guide and model definition*. Retrieved from [https://www.eusmecentre.org.cn/sites/default/files/files/news/SME Definition.pdf](https://www.eusmecentre.org.cn/sites/default/files/files/news/SME%20Definition.pdf)
52. Fortin, F. A., & Parizeau, M. (2013). Revisiting the NSGA-II crowding-distance computation. In *Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation* (pp. 623-630). ACM.
53. Gaalman, G., & Perona, M. (2002). Workload control in job shops: an

introduction to the special issue. *Production Planning & Control*, 13(7), 565–567. <http://doi.org/10.1080/0953728021000057155>

54. Gansterer, M. (2015). Aggregate planning and forecasting in make-to-order production systems. *International Journal of Production Economics*, 170, 521–528. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.001>
55. Gao, L., & Pan, Q. K. (2016). A shuffled multi-swarm micro-migrating birds optimizer for a multi-resource-constrained flexible job shop scheduling problem. *Information Sciences*, 372, 655–676.
56. Gao, J., Sun, L., & Gen, M. (2008). A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 35(9), 2892–2907. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2007.01.001>
57. Garey, M. R., Johnson, D. S., & Sethi, R. (1976). The complexity of flowshop and jobshop scheduling. *Mathematics of Operations Research*, 1(2), 117–129.
58. Gargeya, V., & Thompson, J. (1994). Just-in-time production in small job shops. *Industrial Management-Chicago Then Atlanta*, 36, 23.
59. Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & Operations Research*, 13(5), 533–549.
60. Goerzig, D., Lucke, D., Lenz, J., Denner, T., Lickefett, M., & Bauernhansl, T. (2015). Engineering environment for production system planning in small and medium enterprises. *Procedia CIRP*, 33, 111–114. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.021>
61. Gong, G., Deng, Q., Gong, X., Liu, W., & Ren, Q. (2018). A new double flexible job-shop scheduling problem integrating processing time, green production, and human factor indicators. *Journal of Cleaner Production*, 174, 560–576. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.188>
62. Graham, R. L., Lawler, E. L., Lenstra, J. K., & Rinnooy Kan, A. H. G. (1979). Optimization and approximation in deterministic sequencing and scheduling: a survey. *Annals of Discrete Mathematics*, 5, 287–326.
63. Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantage: implications for strategy formulation. *California Management Review*, 33(3), 114–135.
64. Grant, R. M. (1996). Toward a knowledge-based theory of the firm. *Strategic Management Journal*, 17(S2), 109–122.
65. Greene, P. G., Brush, C. G., & Brown, T. E. (1997). Resources in small firms: an exploratory study. *Journal of Small Business Strategy*, 8(2), 25–40.
66. Haupt, R. (1989). A survey of priority rule-based scheduling. *OR spectrum*, 11(1), 3–16.
67. Heck, M., & Vettiger, H. (2014). Production planning and scheduling & SME. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of*

- Social, Behavioral, Educational, Economic and Management Engineering*, 8(7), 2259–2271.
68. Heizer, J., & Render, B. (2011). *Operations management* (10th ed.). New Jersey: Prentice Hall, Pearson Education.
  69. Hendry, L. C., Kingsman, B. G., & Cheung, P. (1998). The effect of workload control (WLC) on performance in make-to-order companies. *Journal of Operations Management*, 16(1), 63–75. [http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(97\)00011-9](http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(97)00011-9)
  70. Hendry, L., Land, M., Stevenson, M., & Gaalman, G. (2008). Investigating implementation issues for workload control (WLC): A comparative case study analysis. *International Journal of Production Economics*, 112(1), 452–469. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.012>
  71. Henrich, P., Land, M., & Gaalman, G. (2004). Exploring applicability of the workload control concept. *International Journal of Production Economics*, 90(2), 187–198. [http://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00126-9](http://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00126-9)
  72. Herrmann, J. W. (2006). A history of production scheduling. In: J. W. Herrmann (Ed.), *Handbook of Production Scheduling* (pp. 1–22). Springer US.
  73. Holland, J. H. (1975). Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. *Ann Arbor, MI: University of Michigan Press*, 439-444.
  74. Hoogeveen, H. (2005). Multicriteria scheduling. *European Journal of Operational Research*, 167(3), 592–623. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.011>
  75. Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2000). *Factory physics*. McGraw-Hill (second). New York.
  76. Huang, B., Li, C., Yin, C., & Zhao, X. (2013). Cloud manufacturing service platform for small- and medium-sized enterprises. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(9), 1261–1272. <http://doi.org/10.1007/s00170-012-4255-4>
  77. Huang, J., & Süer, G. A. (2015). A dispatching rule-based genetic algorithm for multi-objective job shop scheduling using fuzzy satisfaction levels. *Computers & Industrial Engineering*, 86, 29–42. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2014.12.001>
  78. Huang, Y. (2017). Information architecture for effective workload control: an insight from a successful implementation. *Production Planning & Control*, 28(5), 351–366. <http://doi.org/10.1080/09537287.2017.1288278>
  79. Hudson Smith, M., & Smith, D. (2007). Implementing strategically aligned performance measurement in small firms. *International Journal of Production Economics*, 106(2), 393–408. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.07.011>
  80. Inc. Magazine. (2016). Job shop. Retrieved February 25, 2017. <http://www.inc.com/encyclopedia/job-shop.html>

81. Ivanov, D., Tsipoulanidis, A., & Schönberger, J. (2017a). Processes, systems, and models. *Global supply chain and operations management* (pp. 37–67). Springer. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-24217-0\\_3](http://doi.org/10.1007/978-3-319-24217-0_3)
82. Ivanov, D., Tsipoulanidis, A., & Schönberger, J. (2017b). Production and material requirements planning. *Global supply chain and operations management* (pp. 317–343). Springer. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-24217-0\\_12](http://doi.org/10.1007/978-3-319-24217-0_12)
83. Jackson, J. R. (1956). An extension of Johnson's results on job IDT scheduling. *Naval Research Logistics (NRL)*, 3(3), 201–203.
84. Jacobs, R. F., & Chase, R. B. (2008). *Operations and supply management: the core*. New York: McGraw Hill/Irwin.
85. Jain, A. S., & Meeran, S. (1999). Deterministic job-shop scheduling: Past, present and future. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 390–434. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00113-1](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00113-1)
86. Johansson, B., & Sudzina, F. (2008). ERP systems and open source: an initial review and some implications for SMEs. *Journal of Enterprise Information Management*, 21(6), 649–658. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/17410390810911230>
87. Johnson, S. M. (1954). Optimal two-and three-stage production schedules with setup times included. *Naval Research Logistics Quarterly*, 1(1), 61–68. <http://doi.org/10.1002/nav.3800010110>
88. Johnson, S., Webber, D. J., & Thomas, W. (2007). Which SMEs use external business advice? A multivariate subregional study. *Environment and Planning A*, 39, 1981–1998. <http://doi.org/10.1068/a38327>
89. Jones, A., Rabelo, L. C., & Sharawi, A. T. (1999). Survey of job shop scheduling techniques. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*.
90. Jones, W. D. (1982). Characteristics of planning in small firms. *Journal of Small Business Management (Pre-1986)*, 20(3), 15.
91. Joo, B. J., Choi, Y. C., & Xirouchakis, P. (2013). Dispatching rule-based algorithms for a dynamic flexible flow shop scheduling problem with time-dependent process defect rate and quality feedback. *Procedia CIRP*, 7, 163–168. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.028>
92. Junior, M. L., & Filho, M. G. (2012). Production planning and control for remanufacturing: literature review and analysis. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 23(6), 419–435. <http://doi.org/10.1080/09537287.2011.561815>
93. Kacem, I., Hammadi, S., & Borne, P. (2002). Pareto-optimality approach for flexible job-shop scheduling problems: hybridization of evolutionary algorithms and fuzzy logic. *Mathematics and Computers in Simulation*, 60(3-5), 245-276.
94. Kacem, I. (2013). Genetic algorithms for solving flexible job shop scheduling problems. In: Jarboui, B., Siarry, P., & Teghem, J. (Eds.). *Metaheuristics for*

- production scheduling*. John Wiley & Sons. 19-44.
95. Kanet, J. J., Ahire, S. L., & Gorman, M. F. (2004). Constraint programming for scheduling. In J. Y. T. Leung (Ed.), *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis* (p. 8). Boca Raton, FL: CRC Press.
  96. Keen, P. G., & Morton, M. S. S. (1978). *Decision support systems: an organizational perspective* (Vol. 35). Addison-Wesley Reading, MA.
  97. Kellerer, H. (2004). Minimizing the maximum lateness. In J. Y. T. Leung (Ed.), *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis*. Boca Raton, FL: Chapman and Hall/CRC Press.
  98. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(4598), 671–680.
  99. Koh, S. C. L., & Simpson, M. (2005). Change and uncertainty in SME manufacturing environments using ERP. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(6), 629–653. <http://doi.org/10.1108/17410380510609483>
  100. Konak, A., Coit, D. W., & Smith, A. E. (2006). Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(9), 992-1007
  101. Kraus, S., Harms, R., & Schwarz, E. J. (2006). Strategic planning in smaller enterprises - new empirical findings. *Management Research News*, 29(6), 334–344.
  102. Крчевинац, С., Чангаловић, М., Ковачевић-Вујчић, В., Мартић, М., & Вујошевић, М. (2004). *Операциона истраживања*. Београд: Факултет организационих наука.
  103. Kuhpfahl, J., & Bierwirth, C. (2016). A study on local search neighborhoods for the job shop scheduling problem with total weighted tardiness objective. *Computers & Operations Research*, 66, 44–57. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2015.07.011>
  104. Kumar, C. S., & Panneerselvam, R. (2007). Literature review of JIT-KANBAN system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3-4), 393–408. <http://doi.org/10.1007/s00170-005-0340-2>
  105. Kundakcı, N., & Kulak, O. (2016). Hybrid genetic algorithms for minimizing makespan in dynamic job shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 96, 31–51. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2016.03.011>
  106. Land, M. J., & Gaalman, G. J. C. (2009). Production planning and control in SMEs: time for change. *Production Planning & Control*, 20(7), 548–558. <http://doi.org/10.1080/09537280903034230>
  107. Lang, M., & Li, H. (2011). Research on dual-resource multi-objective flexible job shop scheduling under uncertainty. In *Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC), 2011 2nd International Conference on* (pp. 1375-1378). IEEE.



108. Лазић-Рашовић, Г., & Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2006). Веза МСП и његовог окружења као пословни ресурс. У: *Десета међународна конференција SymOrg - Промене у организацији и менаџменту: изазови европских интеграција*. Златибор.
109. Лечић-Цветковић, Д., & Атанасов, Н. (2015). *Управљање производњом и пуњањем услуга*. Београд: Факултет организационих наука.
110. Lečić-Cvetković, D., Atanasov, N., & Babarogić, S. (2010). An algorithm for customer order fulfillment in a make-to-stock manufacturing system. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 5(5), 783–791.
111. Lečić-Cvetković, D., Atanasov, N., & Omerbegović-Bijelović, J. (2014). Improvement of supply chain management by bullwhip effect reduction. In: M. Levi-Jakšić, S. Barjaktarović-Rakočević, & M. Martić (Eds.), *Innovative Management and Firm Performance* (pp. 214–232). Palgrave Macmillan.
112. Lee, G.-C., Kim, Y.-D., Kim, J.-G., & Choi, S.-H. (2003). A dispatching rule-based approach to production scheduling in a printed circuit board manufacturing system. *Journal of the Operational Research Society*, 54(10), 1038–1049.
113. Lee, N., Sameen, H., & Cowling, M. (2015). Access to finance for innovative SMEs since the financial crisis. *Research Policy*, 44(2), 370–380. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2014.09.008>
114. Lee, Y. H., Bhaskaran, K., & Pinedo, M. (1997). A heuristic to minimize the total weighted tardiness with sequence-dependent setups. *IIE Transactions*, 29(1), 45–52. <http://doi.org/10.1080/07408179708966311>
115. Lei, D. (2010). Solving fuzzy job shop scheduling problems using random key genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 49(1-4), 253–262. <http://doi.org/10.1007/s00170-009-2379-y>
116. Lei, D. (2012). Co-evolutionary genetic algorithm for fuzzy flexible job shop scheduling. *Applied Soft Computing Journal*, 12(8), 2237–2245. <http://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.03.025>
117. Lei, D., & Guo, X. (2014). Variable neighbourhood search for dual-resource constrained flexible job shop scheduling. *International Journal of Production Research*, 52(9), 2519–2529. <http://doi.org/10.1080/00207543.2013.849822>
118. Lei, D., & Guo, X. (2015). An effective neighborhood search for scheduling in dual-resource constrained interval job shop with environmental objective. *International Journal of Production Economics*, 159, 296-303.
119. Lenstra, J. K., Kan, A. H. G. R., & Brucker, P. (1977). Complexity of machine scheduling problems. *Annals of Discrete Mathematics*, 1, 343–362.
120. Leung, J. Y. T. (2004). *Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
121. Li, J., Huang, Y., & Niu, X. (2016). A branch population genetic algorithm for

- dual-resource constrained job shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 113-131.
122. Li, J., Pan, Q., & Liang, Y.C. (2010). An effective hybrid tabu search algorithm for multi-objective flexible job-shop scheduling problems. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 647–662. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2010.07.014>
  123. Li, J.-Q., Pan, Q.-K., & Gao, K.-Z. (2011). Pareto-based discrete artificial bee colony algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(9), 1159–1169. <http://doi.org/10.1007/s00170-010-3140-2>
  124. Li, X., & Gao, L. (2016). An effective hybrid genetic algorithm and tabu search for flexible job shop scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 174, 93–110. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.016>
  125. Liu, X. X., Liu, C. B., & Tao, Z. (2011). Research on bi-objective scheduling of dual-resource constrained flexible job shop. *Advanced Materials Research*, 211, 1091-1095. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.211-212.1091>
  126. Lin, H. W., Nagalingam, S. V., Kuik, S. S., & Murata, T. (2012). Design of a global decision support system for a manufacturing SME: Towards participating in collaborative manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 136(1), 1–12. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.07.001>
  127. Lin, T.-L., Horng, S.-J., Kao, T.-W., Chen, Y.-H., Run, R.-S., Chen, R.-J., ... Kuo, I.-H. (2010). An efficient job-shop scheduling algorithm based on particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications*, 37(3), 2629–2636. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.08.015>
  128. Liu, B., Fan, Y., & Liu, Y. (2015). A fast estimation of distribution algorithm for dynamic fuzzy flexible job-shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 193–201. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2015.04.029>
  129. Љамић-Ивановић, Б., & Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2008). *Примена савремених метауправљачких алата у малим и средњим предузећима при неусклађеној развијености ресурса*. (ментор Омербеговић-Бијеловић, Ј.) Универзитет у Београду, Факултет организационих наука.
  130. Lödding, H. (2012). *Handbook of manufacturing control: Fundamentals, description, configuration*. Springer Science & Business Media.
  131. Loukil, T., Teghem, J., & Tuytens, D. (2005). Solving multi-objective production scheduling problems using metaheuristics. *European Journal of Operational Research*, 161(1), 42–61. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.029>
  132. Lu, H. L., Huang, G. Q., & Yang, H. D. (2011). Integrating order review/release and dispatching rules for assembly job shop scheduling using a simulation approach. *International Journal of Production Research*, 49(3), 647–669. <http://doi.org/10.1080/00207540903524490>
  133. Makajić-Nikolić, D., Babarogić, S., Lečić-Cvetković, D., & Atanasov, N. (2014).

An algorithm for production planning based on supply chain KPIs. *International Journal of Computers, Communications & Control*, 9(6), 711–720. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ih&AN=99126421&lang=pt-br&site=ehost-live>

134. Manikas, A., & Chang, Y.-L. (2009). Multi-criteria sequence-dependent job shop scheduling using genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 56(1), 179–185. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2008.05.002>
135. Maravelias, C. T., & Sung, C. (2009). Integration of production planning and scheduling: Overview, challenges and opportunities. *Computers and Chemical Engineering*, 33(12), 1919–1930. <http://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2009.06.007>
136. Mezgár, I., Kovács, G. L., & Paganelli, P. (2000). Co-operative production planning for small- and medium-sized enterprises. *International Journal of Production Economics*, 64(1), 37–48. [http://doi.org/10.1016/S09255273\(99\)00032-8](http://doi.org/10.1016/S09255273(99)00032-8)
137. Милеуснић, Н. (1980). *Планирање и припрема производње*. Београд: Књижевне новине.
138. Милеуснић, Н. (1985). *Стабилизација и ефикасност производње, Планирање и припрема производње, књига 1*. Београд: НИПРО „Борба“.
139. Mirshekarian, S., & Šormaz, D. N. (2016). Correlation of job-shop scheduling problem features with scheduling efficiency. *Expert Systems with Applications*, 62, 131–147. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.014>
140. Михаиловић, Д. (2012). *Методологија научних истраживања*. Београд: Факултет организационих наука.
141. Mladenović, N., & Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research*, 24(11), 1097–1100. [http://doi.org/10.1016/S0305-0548\(97\)00031-2](http://doi.org/10.1016/S0305-0548(97)00031-2)
142. Mole, K. F., Hart, M., Roper, S., & Saal, D. S. (2009). Assessing the effectiveness of business support services in England. Evidence from a theory-based evaluation. *International Small Business Journal*, 27(5), 557–582. <http://doi.org/10.1177/0266242609338755>
143. Moore, C. W. (2008). *Managing small business: An entrepreneurial emphasis*. Cengage Learning EMEA.
144. Moslehi, G., & Mahnam, M. (2011). A Pareto approach to multi-objective flexible job-shop scheduling problem using particle swarm optimization and local search. *International Journal of Production Economics*, 129(1), 14–22. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.08.004>
145. Muda, M. S. (2011). Universalistic approach on the job shop make-to-order operations. *Australian Journal of Business and Management Research*, 1(6), 158–166.

146. Muda, M. S., & Hendry, L. (2003). The SHEN model for MTO SMEs. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(5), 470–486. <http://doi.org/10.1108/01443570310471820>
147. Muller, P., Caliandro, C., Peycheva, V., Gagliardi, D., Marzocchi, C., Ramlogan, R., & Hope, K. (2015). *Annual report on European SMEs 2014/2015*. European Commission. The European Commission, Directorate - General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. <http://doi.org/10.2873/886211>
148. Muller, P., Devnani, S., Julius, J., Gagliardi, D., Marzocchi, C., & Hope, K. (2016). *Annual report on European SMEs 2015/2016*. The European Commission, Directorate - General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. <http://doi.org/10.2873/76227>
149. Muscatello, J. R., Small, M. H., & Chen, I. J. (2008). Implementing enterprise resource planning (ERP) systems in small and midsize manufacturing firms. *International Journal of Operations*, 23(8), 850–871. <http://doi.org/10.1108/01443570310486329>
150. Национална агенција за регионални развој. (2013). *Истраживање о стању, потребама и проблемима малих и средњих предузећа и предузетника (МСП) у Србији*. Преузето са: <http://narr.gov.rs/index.php/Aktivnosti/Istrazivanja-i-analize/Istrazivanje-o-stanju-potrebama-i-problemima-MSP>
151. Nawaz, M., Ensore, E. E., & Ham, I. (1983). A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem. *Omega*, 11(1), 91–95.
152. Negrão, L. L. L., Godinho Filho, M., & Marodin, G. (2016). Lean practices and their effect on performance: a literature review. *Production Planning & Control*, 28(1), 1–24. <http://doi.org/10.1080/09537287.2016.1231853>
153. Newman, A. M., Martinez, M., & Kuchta, M. (2006). A review of long-and short-term production scheduling at LKAB's Kiruna Mine. In *Handbook of Production Scheduling* (pp. 265–286). Springer.
154. Nguyen, S., Zhang, M., Johnston, M., & Tan, K. C. (2013a). A computational study of representations in genetic programming to evolve dispatching rules for the job shop scheduling problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 17(5), 621–639.
155. Nguyen, S., Zhang, M., Johnston, M., & Tan, K. C. (2013b). Learning iterative dispatching rules for job shop scheduling with genetic programming. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(1-4), 85–100. <http://doi.org/10.1007/s00170-013-4756-9>
156. Niazi, H. K., Sun, H.-F., Zhang, F.P., & Ahmed, R. (2006). Extending matlab and ga to solve job shop manufacturing scheduling problems. *WSEAS Transactions on Systems*, 5(4), 805–810.
157. O'Reilly, S., Kumar, A., & Adam, F. (2015). The role of hierarchical production planning in food manufacturing SMEs. *International Journal of Operations &*

*Production Management*, 35(10), 1362–1385.

158. Olhager, J., & Rapp, B. (1995). Operations research techniques in manufacturing planning and control systems. *International Transactions in Operational Research*, 2(1), 29–43.
159. Olhager, J., & Wikner, J. (2000). Production planning and control tools. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 11(3), 210–222. <http://doi.org/10.1080/095372800232180>
160. Omerbegović-Bijelović, J., Atanasov, N., & Rakićević, Z. (2014). Improvement of the planning system in supply chains and software support. In M. Levi-Jakšić, A. Marković, & S. Barjaktarević-Rakočević (Eds.), *Proceedings of the 14th International Symposium SymOrg* (pp. 1239–1249). Zlatibor, Serbia: Faculty of organisational sciences.
161. Omerbegović-Bijelović, J. & Čangalovic, M. (2005). Integral solving assignment and job-shop problems for small and medium sized enterprises, *YUJOR* (прихваћено за штампу (уз кориговање), али необјављено).
162. Омербеговић-Бијеловић, Ј. (1986). *Терминирање производње – модели и методе*. Универзитет у Београду.
163. Омербеговић-Бијеловић, Ј. (1991). *Планирање производње у тржишним условима*. Београд: Факултет организационих наука.
164. Омербеговић-Бијеловић, Ј. (1998). *Метауправљање и квалитет управљања*. Београд: Задужбина Андрејевић.
165. Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2000). Планирање и припрема производње или/и услуживања у малом и средњем предузећу. У: *Зборник радова VII међународни симпозијум менаџмент промена, СимОрг 2000* (117–122). Београд: Факултет организационих наука.
166. Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2004). Планирање и припрема ресурса савременог предузећа. У: *IX Међународни симпозијум СимОрг 2004 “Менаџмент - кључни фактор успеха” Златибор, 6-10. јун* (стр. 302). Београд: Факултет организационих наука.
167. Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2005). *Планирање и припрема производње и услуга у Excel-у*. Београд: Факултет организационих наука.
168. Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2006). *Планирање и припрема производње и пружање услуга*. Београд: Факултет организационих наука.
169. Омербеговић-Бијеловић, Ј. и др. (2010). *Основе операционог менаџмента*. Београд: Факултет организационих наука.
170. Омербеговић-Бијеловић, Ј., Лазић-Рашовић, Г., & Ракићевић, З. (2010). Управљање процесом отклањања уских грла. У: *Зборних радова XII међународни симпозијум: Организационе науке и менаџмент знања, SymOrg 2010* (стр. 2114–2128). Факултет организационих наука.

171. Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons.
172. Palacios, J. J., González, M. A., Vela, C. R., González-Rodríguez, I., & Puente, J. (2015). Genetic tabu search for the fuzzy flexible job shop problem. *Computers and Operations Research*, 54, 74–89. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2014.08.023>
173. Pallant, J., (2011). *SPSS Survival Manual: A step by step guide to data analysis using SPSS*. Fourth Edition. Allen & Unwin: Crows Nest NSW. Prevod: *SPSS priručnik za preživljavanje, postupni vodič kroz analizu podataka pomoću SPSS-a*. Mikro knjiga: Beograd
174. Parthanadee, P., & Buddhakulsomsiri, J. (2010). Simulation modeling and analysis for production scheduling using real-time dispatching rules: A case study in canned fruit industry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(1), 245–255. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2009.11.002>
175. Patzelt, H., & Shepherd, D. A. (2009). Strategic entrepreneurship at universities: Academic entrepreneurs' assessment of policy programs. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 33(1), 319–340.
176. Perona, M., Saccani, N., & Zanoni, S. (2009). Combining make-to-order and make-to-stock inventory policies: an empirical application to a manufacturing SME. *Production Planning & Control*, 20(7), 559–575. <http://doi.org/10.1080/09537280903034271>
177. Persona, A., Regattieri, A., & Romano, P. (2004). An integrated reference model for production planning and control in SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(7), 626–640. <http://doi.org/10.1108/17410380410555871>
178. Pezzella, F., Morganti, G., & Ciaschetti, G. (2008). A genetic algorithm for the Flexible job-shop Scheduling Problem. *Computers and Operations Research*, 35(10), 3202–3212. <http://doi.org/10.1016/j.cor.2007.02.014>
179. Piller, C., & Wölfel, D. I. W. (2014). Production planning for SMEs - Implementation of production planning with subject-oriented business process management (S-BPM). *International Conference on Subject-Oriented Business Process Management* (Vol. 422 CCIS, pp. 164–173). Switzerland: Springer International Publishing. [http://doi.org/10.1007/978-3-319-06191-7\\_12](http://doi.org/10.1007/978-3-319-06191-7_12)
180. Pinedo, M. (2005). *Planning and scheduling in manufacturing and services*. New York: Springer Science+Business Media. <http://doi.org/10.1007/b139030>
181. Pinedo, M. (2009). *Planning and scheduling in manufacturing and services* (second edi). New York: Springer Science+Business Media. <http://doi.org/10.1007/978-1-4419-0910-7>
182. Pinedo, M. (2012). *Scheduling* (fourth). New York: Springer Science+Business Media. <http://doi.org/10.1007/978-1-4614-2361-4>
183. Pinedo, M., Chao, X., & Leung, J. Y. T. (2010). LEKIN® — Flexible job-shop

- scheduling system, Stern School of Business. Retrieved from: <http://web-static.stern.nyu.edu/om/software/lekin/>
184. Porter, K., Little, D., Peck, M., & Rollins, R. (1999). Manufacturing classifications: relationships with production control systems. *Integrated Manufacturing Systems*, 10(4), 189–199.
  185. Porter, M. E. (1990). *The competitive advantage of nations*. New York: Free Press, The Macmillan.
  186. Powell, D., Riezebos, J., & Strandhagen, J. O. (2013). Lean production and ERP systems in small- and medium-sized enterprises: ERP support for pull production. *International Journal of Production Research*, 51(2), 395–409. <http://doi.org/10.1080/00207543.2011.645954>
  187. Рађеновић, В. (1978). *Планирање и терминирање производње*. Чачак: Виша техничка школа.
  188. Rakićević, Z., Omerbegović-Bijelović, J., & Lazić-Rašović, G. (2013). SMEs support planning improvement based on its suitable structure. *Management: Journal for Theory and Practice*, 18(68), 31–40. <http://doi.org/10.7595/management.fon.2013.0016>
  189. Rakićević, Z., Omerbegović-Bijelović, J., & Lečić-Cvetković, D. (2016a). A model for effective planning of SME support services. *Evaluation and Program Planning*, 54, 30–40. <http://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2015.09.004>
  190. Rakićević, Z., Omerbegović-Bijelović, J., & Lečić-Cvetković, D. (2016b). Open source enterprise resource planning: Solution for production planning in SMEs. In O. Jaško & S. Marinković (Eds.), *Proceedings of the 15th International Symposium SymOrg 2016* (pp. 1003–1010). Zlatibor, Serbia: Faculty of Organizational Sciences.
  191. Rakićević, Z., & Vujošević, M. (2014). Analysis of dispatching rules application on scheduling problem in flexible-flow shop production. *Tehnika*, 69(3), 507–513.
  192. Ракићевић, З., & Станојевић, М. (2016). Правовремено распоређивање у Job shop проблему: приступ вишекритеријумске оптимизације. У: Илић А., Петровић, Д. & Стојковић Д. (Eds.), *Зборник XLIII Симпозијума о операционим истраживањима* (pp. 457–460). Београд: Медија центар „Одбрана“.
  193. Ramsden, M., & Bennett, R. J. (2005). The benefits of external support to SMEs: “Hard” versus “Soft” outcomes and satisfaction levels. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 12(2), 227–243. <http://doi.org/10.1108/14626000510594629>
  194. Ranga, L. M., Miedema, J., & Jorna, R. (2008). Enhancing the innovative capacity of small firms through triple helix interactions: challenges and opportunities. *Technology Analysis & Strategic Management*, 20(6), 697–716. <http://dx.doi.org/10.1080/09537320802426408>

195. Romero-Silva, R., Santos, J., & Hurtado, M. (2014). A framework for studying practical production scheduling. *Production Planning & Control*, 26(6), 438–450. <http://doi.org/10.1080/09537287.2014.919413>
196. Roshanaei, V., Naderi, B., Jolai, F., & Khalili, M. (2009). A variable neighborhood search for job shop scheduling with set-up times to minimize makespan. *Future Generation Computer Systems*, 25(6), 654–661. <http://doi.org/10.1016/j.future.2009.01.004>
197. Rue, L. W., & Ibrahim, N. A. (1996). The status of planning in smaller family-owned business. *Family Business Review*, 9(1), 29–43.
198. Rue, L. W., & Ibrahim, N. A. (1998). The relationship between planning sophistication and performance in small businesses. *Journal of Small Business Management*, 36(4), 24–32.
199. Saidi-Mehrabad, M., & Fattahi, P. (2007). Flexible job shop scheduling with tabu search algorithms. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32, 563–570. <http://doi.org/10.1007/s00170-005-0375-4>
200. Schwartz, D., & Bar-El, R. (2004). Targeted consultancy services as an instrument for the development of remote SMEs A Brazilian case. *International Small Business Journal*, 22(5), 503–521. <http://doi.org/10.1177/0266242604046298>
201. Selcuk Kilic, H., Zaim, S., & Delen, D. (2015). Selecting “The Best” ERP system for SMEs using a combination of ANP and PROMETHEE methods. *Expert Systems with Applications*, 42(5), 2343–2352. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.034>
202. Sertić, Ž. (2015). *Report on small and medium-sized enterprises and entrepreneurship for 2014*. Belgrade: The Ministry of Economy.
203. Sha, D. Y., & Lin, H. H. (2010). A multi-objective PSO for job-shop scheduling problems. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1065–1070. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.041>
204. Sharma, P., & Jain, A. (2016). A review on job shop scheduling with setup times. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 230(3), 517–533. <http://doi.org/10.1177/0954405414560617>
205. Shaw, J. C., & Blackburn, R. A. (2000). Panacea or white elephant? A critical examination of the proposed new small business service and response to the DTI consultancy paper. *Regional Studies*, 34(2), 181–206.
206. Shen, L. (2014). A tabu search algorithm for the job shop problem with sequence dependent setup times. *Computers & Industrial Engineering*, 78, 95–106. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.004>
207. Shen, X.-N., & Yao, X. (2015). Mathematical modeling and multi-objective evolutionary algorithms applied to dynamic flexible job shop scheduling problems. *Information Sciences*, 298(219), 198–224. <http://doi.org/10.1016/>



j.ins.2014.11.036

208. Singh, M. R., & Mahapatra, S. S. (2015). A quantum behaved particle swarm optimization for flexible job shop scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 36–44. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.004>
209. Slack, N., Brandon-Jones, A., Johnston, R., & Betts, A. (2015). *Operations and process management: principles and practice for strategic impact*. Pearson Education.
210. Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2007). *Operations management*. Prentice Hall, Pearson Education.
211. Slomp, J., Bokhorst, J. a. C., & Germs, R. (2009). A lean production control system for high-variety/low-volume environments: a case study implementation. *Production Planning & Control*, 20(7), 586–595. <http://doi.org/10.1080/09537280903086164>
212. Sousa, C. M. P., & Bradley, F. (2009). Effects of export assistance and distributor support on the performance of SMEs: The case of Portuguese export ventures. *International Small Business Journal*, 27(6), 681–701. <http://doi.org/10.1177/0266242609344253>
213. Sousa, C. M. P., & Novello, S. (2012). The influence of distributor support and price adaptation on the export performance of small and medium-sized enterprises. *International Small Business Journal*, 32(4), 359–385. <http://doi.org/10.1177/0266242612466876>
214. Spicer, D., & Sadler-Smith, E. (2006). Organizational learning in smaller manufacturing firms. *International Small Business Journal*, 24(2), 133–158. <http://doi.org/10.1177/0266242606061836>
215. Srinivas, N., & Deb, K. (1994). Multiobjective optimization using nondominated sorting in genetic algorithms. *Evolutionary computation*, 2(3), 221–248
216. Stevenson, M. (2009). Practical implementation of production planning and control concepts in SMEs and MTOs: an introduction to the special issue. *Production Planning & Control*, 20(7), 541–547. <http://doi.org/10.1080/09537280903034222>
217. Stevenson, M., Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International Journal of Production Research*, 43(5), 869–898. <http://doi.org/10.1080/0020754042000298520>
218. Stevenson, M., Huang, Y., Hendry, L. C., & Soepenber, E. (2011). The theory and practice of workload control: A research agenda and implementation strategy. *International Journal of Production Economics*, 131(2), 689–700. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.02.018>
219. Sun, Y., Zhang, C., Gao, L., & Wang, X. (2011). Multi-objective optimization algorithms for flow shop scheduling problem: A review and prospects.

- International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(5-8), 723–739. <http://doi.org/10.1007/s00170-010-3094-4>
220. Шешић, Б. (1982). *Основи методологије друштвених наука*. Београд: Научна књига.
  221. Т'kindt, V. (2011). Multicriteria models for just-in-time scheduling. *International Journal of Production Research*, 49(11), 3191–3209. <http://doi.org/10.1080/00207541003733783>
  222. Т'kindt, V., & Billaut, J. C. (2006). *Multicriteria scheduling: theory, models and algorithms* (second). Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media.
  223. Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Using multivariate statistics*, 5th. Boston: Pearson Education.
  224. Tay, J. C., & Ho, N. B. (2008). Evolving dispatching rules using genetic programming for solving multi-objective flexible job-shop problems. *Computers and Industrial Engineering*, 54(3), 453–473. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2007.08.008>
  225. Teittinen, H., Pellinen, J., & Järvenpää, M. (2013). ERP in action - Challenges and benefits for management control in SME context. *International Journal of Accounting Information Systems*, 14(4), 278–296. <http://doi.org/10.1016/j.accinf.2012.03.004>
  226. Thomé, A. M. T., Scavarda, L. F., & Scavarda, A. J. (2016). Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, 27(5), 408–420. <http://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464>
  227. Thürer, M., Huang, G., Stevenson, M., Silva, C., & Filho, M. (2012). The performance of due date setting rules in assembly and multi-stage job shops: an assessment by simulation. *International Journal of Production Research*, 50(20), 5949–5965. <http://doi.org/10.1080/00207543.2011.638942>
  228. Thürer, M., Land, M. J., Stevenson, M., & Fredendall, L. D. (2017). On the integration of due date setting and order release control. *Production Planning & Control*, 28(5), 420–430. <http://doi.org/10.1080/09537287.2017.1302102>
  229. Thürer, M., Silva, C., & Stevenson, M. (2010). Workload control release mechanisms: from practice back to theory building. *International Journal of Production Research*, 48(12), 3593–3617. <http://doi.org/10.1080/00207540902922810>
  230. Thürer, M., Stevenson, M., & Silva, C. (2011). Three decades of workload control research: a systematic review of the literature of the literature. *International Journal of Production Research*, 49(23), 6905–6935. <http://doi.org/10.1080/00207543.2010.519000>
  231. Todeti, V., & Jally, K. (2013). *Reducing internal lead times in MTO & job-shop production environments: a case study*. School of Engineering, Jönköping.
  232. Тодоровић, Ј., & Лечић-Цветковић, Д. (2005). *Управљање производњом*.

Београд: Факултет организационих наука.

233. Томашевић, И., Стојановић, Д., Симеуновић, Б., & Словић, Д. (2013). Практична применљивост контроле оптерећења у контроли производње. У: М. Леви-Јакшић & Д. Лечић-Цветковић (Eds.), *IX Скупа привредника и научника СПИН '13* (pp. 231–238). Београд: Факултет организационих наука.
234. *Управљање производњом уз примену компјутера, ORG manual: интегрално управљање производњом* (1982). Загреб: Центар за документацију и информације.
235. Uzsoy, R., Lee, C.-Y., & Martin-Vega, L. A. (1994). A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry part II: Shop-floor control. *IIE Transactions*, 26(5), 44–55.
236. Vaaland, T. I., & Heide, M. (2007). Can the SME survive the supply chain challenges? *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(1), 20–31. <http://doi.org/10.1108/13598540710724374>
237. Vázquez-Rodríguez, J. A., & Petrovic, S. (2010). A new dispatching rule based genetic algorithm for the multi-objective job shop problem. *Journal of Heuristics*, 16(6), 771–793. <http://doi.org/10.1007/s10732-009-9120-8>
238. Verlinden, B., Cattrysse, D., Crauwels, H., & Van Oudheusden, D. (2009). The development and application of an integrated production planning methodology for sheet metal working SMEs. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 20(7), 649–663. <http://doi.org/10.1080/09537280903034354>
239. Vila, A., & Leicher, Z. (1972). *Planiranje proizvodnje i kontrola rokova: operativna priprema rada, poslovanje specijalnim alatima*. Zagreb: Informator.
240. Vila, A., Štajdl, B., Čala, I., & Karabaić, I. (1982). *Modeli planiranja proizvodnje u industriji*. Zagreb: Informator.
241. Villa, A., & Taurino, T. (2018). Event-driven production scheduling in SME. *Production Planning & Control*, 29(4), 271–279.
242. Vilcot, G., & Billaut, J.-C. (2011). A tabu search algorithm for solving a multicriteria flexible job shop scheduling problem. *International Journal of Production Research*, 49(23), 6963–6980. <http://doi.org/10.1080/00207543.2010.526016>
243. Vogel, T., Almada-Lobo, B., & Almeder, C. (2017). Integrated versus hierarchical approach to aggregate production planning and master production scheduling. *OR Spectrum*, 39(1), 193–229. <http://doi.org/10.1007/s00291-016-0450-2>
244. Yusoff, Y., Ngadiman, M. S., & Zain, A. M. (2011). Overview of NSGA-II for optimizing machining process parameters. *Procedia Engineering*, 15, 3978–3983.
245. Вујошевић, М., Станојевић, М., & Младеновић, Н. (1996). Методе оптимизације: мрежни, локацијски и вишекритеријумски модели. Друштво операционих истраживача Југославије.

246. Вујошевић, М. (1997). *Оператвни менаџмент квантитативне методе*. Друштво операционих истраживача Југославије - ДОПИС.
247. Вујошевић, М. (2012). *Методе оптимизације у инжењерском менаџменту*. Београд: Академија инжењерских наука, Факултет организационих наука.
248. Wang, S., & Li, Y. (2014). Variable neighbourhood search and mathematical programming for just-in-time job-shop scheduling problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1–9. <http://doi.org/10.1155/2014/431325>
249. Weckman, G. R., Ganduri, C. V., & Koonce, D. A. (2008). A neural network job-shop scheduler. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 19(2), 191–201. <http://doi.org/10.1007/s10845-008-0073-9>
250. Wernerfelt, B. (1984). A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 5(2), 171–180.
251. Wight, O. (1981). *Manufacturing resource planning: MRP II*. New York: Oliver Wight Limited Publications.
252. Work in process. (2017). Retrieved from <http://www.businessdictionary.com/definition/work-in-process.html>
253. Xie, C., & Allen, T. T. (2015). Simulation and experimental design methods for job shop scheduling with material handling: a survey. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 80(1-4), 233–243. <http://doi.org/10.1007/s00170-015-6981-x>
254. Xiong, J., Xing, L. N., & Chen, Y. W. (2013). Robust scheduling for multi-objective flexible job-shop problems with random machine breakdowns. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 112–126. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.04.015>
255. Yang, H. A., Sun, Q. F., Saygin, C., & Sun, S. D. (2012). Job shop scheduling based on earliness and tardiness penalties with due dates and deadlines: An enhanced genetic algorithm. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 61(5), 657–666. <http://doi.org/10.1007/s00170-011-3746-z>
256. Yang, S., Arndt, T., & Lanza, G. (2016). A flexible simulation support for production planning and control in small and medium enterprises. *Procedia CIRP*, 56, 389–394. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.062>
257. Yazdani, M., Zandieh, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Jolai, F. (2015). Two meta-heuristic algorithms for the dual-resource constrained flexible job-shop scheduling problem. *Scientia Iranica. Transaction E, Industrial Engineering*, 22(3), 1242.
258. Yazdani, M., Aleti, A., Khalili, S. M., & Jolai, F. (2017). Optimising the sum of maximum earliness and tardiness of the job shop scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 107, 12–24. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2017.02.019>
259. Yenisey, M. M., & Yagmahan, B. (2014). Multi-objective permutation flow shop scheduling problem: Literature review, classification and current trends. *Omega*,

- 45, 119–135. <http://doi.org/10.1016/j.omega.2013.07.004>
260. Yuan, Y., & Xu, H. (2013). Flexible job shop scheduling using hybrid differential evolution algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 65(2), 246–260. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2013.02.022>
261. Yusuf, A., & Saffu, K. (2005). Planning and performance of small and medium enterprise operators in a country in transition. *Journal of Small Business Management*, 43(4), 480–497. <http://doi.org/10.1111/j.1540-627X.2005.00148.x>
262. Zambrano Rey, G., Bekrar, A., Trentesaux, D., & Zhou, B. H. (2015). Solving the flexible job-shop just-in-time scheduling problem with quadratic earliness and tardiness costs. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(9-12), 1871–1891. <http://doi.org/10.1007/s00170-015-7347-0>
263. Zapfel, G., Bogl, M., & Braune, R. (2010). *Metaheuristic search concepts: A tutorial with applications to production and logistics*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-11343-7>
264. Zhang, G., Gao, L., & Shi, Y. (2011). An effective genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 3563–3573. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.145>
265. Zheng, X., & Wang, L. (2016). A knowledge-guided fruit fly optimization algorithm for dual resource constrained flexible job-shop scheduling problem, *International Journal of Production Research*, 54(18), 5554–5566. <http://doi.org/10.1080/00207543.2016.1170226>
266. Zhou, H., Cheung, W., & Leung, L. C. (2009). Minimizing weighted tardiness of job-shop scheduling using a hybrid genetic algorithm. *European Journal of Operational Research*, 194(3), 637–649. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.10.063>
267. Zhou, R., Nee, A. Y. C., & Lee, H. P. (2009). Performance of an ant colony optimisation algorithm in dynamic job shop scheduling problems. *International Journal of Production Research*, 47(11), 2903–2920. <http://doi.org/10.1080/00207540701644219>
268. Zitzler, E., & Thiele, L. (1999). Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach. *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, 3(4), 257-271.

## **ПРИЛОЗИ**

У наредном делу докторске дисертације представљени су прилози, по редоследу у коме су навођени у основном тексту докторске дисертације:

Прилог 1: Приказ изабраних метода које се користе у оперативном планирању производње (Прилози 1а, 1б, 1в, 1г);

Прилог 2: Приказ предлога упитника за мерење нивоа развијености оперативног планирања производње и управљања ресурсима;

Прилог 3: Биографија аутора докторске дисертације;

Прилог 4а: Изјава о ауторству;

Прилог 4б: Изјава истовестности штампане и електронске верзије докторског рада;

Прилог 4в: Изјава о коришћењу.

## **ПРИЛОГ 1**

**Прилог 1а:** Приказ примене методе значајних разлика.

Подаци о временским нормативима реализације послова обраде производа као и о расположивим капацитетима машина, дати су у Табели 41. Потребно је доделити послове машинама. Ознаке полазних података су представљене у Табели 41:

$T_{pzij}$  – припремно завршно време за посао на производу  $j$  ( $j=1, \dots, n$ ) и машини  $i$  ( $i=1, \dots, m$ ), без обзира на обим посла, тј. на величину серије. Пример у Табели 41, припремно-завршно време за производ  $P1$  и машину  $M1$  износи:  $T_{pz11}=3$  [в.ј./сер.].

$T_{ij} = Q_j * t_{ij}$  – норматив рада на  $j$ -том послу и  $i$ -тој машини. Норматив рада за производ  $P1$  и машину  $M1$  у примеру Табеле 41 износи:  $T_{11}=180$  [в.ј./сер.];

$h_{ij}$  – хијерархија (приоритет)  $i$ -те машине за  $j$ -ти посао. У примеру у Табели 41 за производ  $P1$  и машину  $M1$  износи:  $h_{11}=3$ .

**Табела 41:** Пример примене методе значајних разлика

Група машина		ПРОИЗВОДИ								КАПАЦИТЕТИ
Назив	$n$ [ком]	P1		P2		P3		P4		Расположиви капацитети
M1	3	7	3	5	4	5	3	4	4	100
		180		150		100		90		80
M2	2	5	1	4	2	4	1	6	3	90 - 5 - 85 = 0
		100		110		80 70%		60		80 - 5 - 15 = 60
M3	1	4	2	6	1	-		5	2	60 - 4 - 56 = 0
		120		80		-		40		90 - 6 - 80 = 4
M4	2	5	4	3	3	2	2	6	1	100 - 6 - 35 = 59
		200		150		90 30%		35		59 - 2 - 27 = 30
2-1	Σ	20		30		10		5		80
3-2	3-1	60	80	40	70	10	20	20	25	
4-3	4-1	20	100	0	70	0	20	30	55	
РЕДОСЛЕД		2		1		4		3		

Поред тога за сваку машину су дати и расположиви капацитети у левој колони.



Процедура методе значајних разлика, за решавање проблема асигнације, подразумева да се најпродуктивнијој машини додељују послови (радни налози) који би утروшили највише додатних сати рада кад би били додељени следећој по продуктивности (успешности) машини. Ова разлика тј. додатни сати рада користе се за дефинисање приоритета у додељивању одређених послова тј. производа по машинама.

**Прилог 16:** Примена методе утврђивања времена покривености тражње залихама за одређивање дужине трајања оперативног периода

**Табела 42:** Полазни подаци за примену методе за одређивање дужине оперативног периода

Производ	$Qz(t=0)$ [к.ј.]	$Qtt$ [к.ј./ТЈ]	$Kztt(0)$ [ТЈ]	$Qser$ [к.ј./сер.]	$Qtp(t)$ [к.ј./ТЈ]	$Tser$ [ТЈ/сер.]
P1	600	60	10	300	300	1,0
P2	400	100	4	250	500	0,5
P3	300	50	6	500	250	2,0
P4	800	100	8	400	800	0,5

Полазни подаци су дати у Табели 42 (Омербеговић-Бијеловић, 2005, стр. 225).

Ознаке у прорачунима су следеће:

$Qz(t=0)$  – Почетне залихе (залихе на почетку првог периода), у [к.ј.];

$Qoz(t)$  – Залихе на крају  $t$ -тог оперативног периода, у [к.ј.];

$Qtt$  – „Терминска тражња“, тј. обим тражње у току терминске јединице, у [к.ј./ТЈ];

$Kztt(1)$  - Коефицијент покривености терминске тражње залихама са краја  $t$ -тог оперативног периода, у [1/ТЈ];

$Qser$  – Обим (величина) серије, у [к.ј./сер.];

$Qtp(t)$  – „Термински капацитет“, тј. могући обим производње у току терминске јединице, у [к.ј./ТЈ];

$Tser$  – Временски норматив серије (време потребно за производњу серије), у [ТЈ/сер.];

[к.ј.] – количинска јединица производа ( $kg$ ,  $t$ ,  $m$ , комад...);

[ТЈ] – терминска јединица (у временским јединицама:  $min$ ,  $h$ , смена, дан...);

[сер.] – Односи се на целу серију производа.

$$Kztt(t) = \frac{Qoz(t)}{Qtt}, \quad y [1/T]$$

$$Qoz(t + 1) = Qoz(t) - Qtt * t, \quad y [к.ј.]$$

У Табели 43 је представљено решење одређивања дужине трајања оперативног периода у три итерације.

**Табела 43:** Табела одређивања дужине оперативног периода

$t$	$t_0$		$t_1 = t_0 + 0,5 [TJ]$		$t_2 = t_1 + 2 [TJ]$		$t_3 = t_2 + 0,5 [TJ]$	
Пр.	$Qoz(t=0)$ [к.ј.]	$Kztt(0)$ [TJ]	$Qoz(t=1)$ [к.ј.]	$Kztt(1)$ [TJ]	$Qoz(t=2)$ [к.ј.]	$Kztt(2)$ [TJ]	$Qoz(t=3)$ [к.ј.]	$Kztt(3)$ [TJ]
P1	600	10	$600 - 60/2 = 570$	$570/60 = 9,5$	$570 - 120 = 450$	7,5	$450 - 60/2 = 420$	7,0
P2	400	4	$400 - 50 + 250 = 600$	$600/100 = 6,0$	$600 - 200 = 400$	4,0	$400 - 50 + 250 = 600$	6,0
P3	300	6	$300 - 50/2 = 275$	$275/50 = 5,5$	$275 - 100 + 500 = 675$	13,5	$675 - 25 = 650$	13,0
P4	800	8	$800 - 100/2 = 750$	$750/100 = 7,5$	$750 - 200 = 550$	5,5	$750 - 50 = 700$	7,0
$\Sigma$	2100	$Tser$ (P2)	2195	$Tser$ (P3)	2075	$Tser$ (P2)	2370	$Tser$ (P2)

У свакој итерацији се, на основу  $min Kztt$ , бира производ који се ради као први у низу и који одређује вредност дужине трајања оперативног периода. Решење проблема није коначно, већ се може наставити из итерације у итерацију.

**Прилог 1в:** Пример примене алгоритма *Giffler-Thompson (GT)*.

Пример проблема *Job Shop J3/ |C<sub>max</sub>* за ( $n = 3$ ), је преузет из (*Zapfel et al.*, 2010, стр. 181–182).

Полазни подаци су дати у матрици:

$J1: M3 (70); M1(40); M2 (20)$

$J2: M2 (50); M3(60); M1 (30)$

$J3: M2 (40); M1(20); M3 (30)$

Матрични приказ операција је дат на следећи начин:

$J1: O_{31}; O_{11}; O_{21}$

$J2: O_{22}; O_{32}; O_{12}$

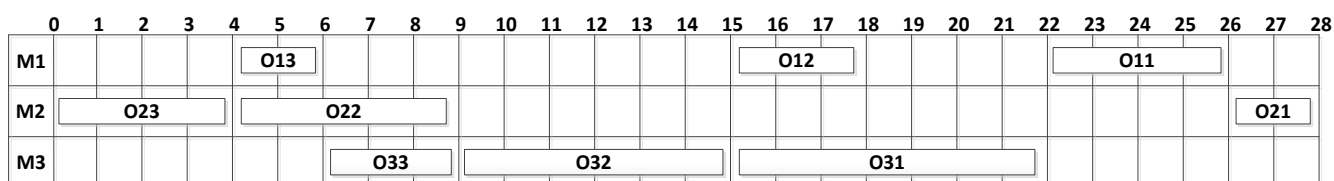
$J3: O_{23}; O_{13}; O_{33}$

Поступак решавања *Job Shop* проблема је представљен у Табели 44.

**Табела 44:** Пример поступка решавања *Job Shop* проблема са *GT* алгоритмом.

Операције разматране за распоређивање $Q$	$(S^e(O); C^e(O)), \forall O \in Q$	Скуп конфликта $K$	$O'$ према <i>SPT</i> правилу	Ажурирати све операције $O \in succ^T(O)$ и $O \in Q'$
$(O_{31}; O_{22}; O_{23})$	$(0,70); (0,50); (0,40)$	$(O_{22}; O_{23})$	$O_{23}$	$S^e(O_{13}) = 40$ $S^e(O_{22}) = 40$
$(O_{31}; O_{22}; O_{13})$	$(0,70); (40,90); (40,60)$	$(O_{13})$	$O_{13}$	$S^e(O_{33}) = 60$
$(O_{31}; O_{22}; O_{33})$	$(0,70); (40,90); (60,90)$	$(O_{31}; O_{33})$	$O_{33}$	$S^e(O_{31}) = 90$
$(O_{31}; O_{22})$	$(90,160); (40,90);$	$(O_{22})$	$O_{22}$	$S^e(O_{32}) = 90$
$(O_{31}; O_{32})$	$(90,160); (90,150);$	$(O_{31}, O_{32})$	$O_{32}$	$S^e(O_{31}) = 150$ $S^e(O_{12}) = 150$
$(O_{31}; O_{12})$	$(150,220); (150,170);$	$(O_{12})$	$O_{12}$	
$(O_{31})$	$(150,220);$	$(O_{31})$	$O_{31}$	$S^e(O_{11}) = 220$
$(O_{21})$	$(260,280);$	$(O_{21})$	$O_{21}$	

Добијен је активан распоред (Слика 65) који није оптималан, вредност функције циља је:  $C_{max} = 280$ .



**Слика 65:** Гантограм за решење према *GT* алгоритму

Поступак решавања се може представити и Табелом 45 са оријентацијом на машине (енгл. *Machine Centric View*) које се резервишу у процесу обраде.

**Табела 45:** *GT* алгоритам табела са оријентацијом на машине.

Машина 1	Машина 2	Машина 3	Распоређена операција $O'$	$r(M(O'))$
	$O_{23}: (0,40)$ $O_{22}: (0,50)$	$O_{31}: (0,70)$	$O_{23}$	40
$O_{13}: (40,60)$	$O_{22}: (40,90)$	$O_{31}: (0,70)$	$O_{13}$	60
	$O_{22}: (40,90)$	$O_{31}: (0,70)$ $O_{33}: (0,70)$	$O_{33}$	90
	$O_{22}: (40,90)$	$O_{31}: (90,160)$ $\vdots$ ИТД.	$O_{22}$	90

У оквиру овог алгоритма могу се користити бројна правила приоритета која су

претходно представљена у Табели 9. Такође у појединим конфликтним ситуацијама, може се користити и више правила приоритета истовремено а за систематско решавање може се применити и концепт гранања и ограничавања (енгл. *Branch & Bound*).

### **Прилог 1г:** Примена методе Генетски алгоритми на проблему *Job Shop*

Пример примене методе генетски алгоритми у решавању проблема *Job shop J3* |  $C_{max}$  за ( $n = 3$ ), преузет је из (*Zapfel et al.*, 2010, стр. 225–231). Полазна матрица са подацима може се означити са:

$J_1$ :  $M_3$  (70);  $M_1$ (40);  $M_2$  (20)

$J_2$ :  $M_2$  (50);  $M_3$ (60);  $M_1$  (30)

$J_3$ :  $M_2$  (40);  $M_1$ (20);  $M_3$  (30) или

$J_1$ :  $O_{31}$ ;  $O_{11}$ ;  $O_{21}$

$J_2$ :  $O_{22}$ ;  $O_{32}$ ;  $O_{12}$

$J_3$ :  $O_{23}$ ;  $O_{13}$ ;  $O_{33}$

Величина популације: 4

Оператор селекције: Линеарни ранг

Кодирање: Кодирана матрица редоследа послова

Декодер решења: *GT* алгоритам

Оператор укрштања: *SXX* - укрштање поднизова редоследа на машинама

Оператор мутације: премештање

Шема замене (енгл. *Replacement Sheme*), степен мутације (енгл. *Mutation Rate*) и критеријум завршетка алгоритма (енгл. *Termination Criterion*) у овом примеру нису релевантни. Представљање алгоритма је ограничено на једну итерацију/генерацију.

**1) Иницијализација:** Користи се *GT* алгоритам за декодирање решења али и за генерисање почетне популације. Конфликти се решавају на случајан начин.

$P_0 = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$   $S_1$  и  $S_4$  су исти

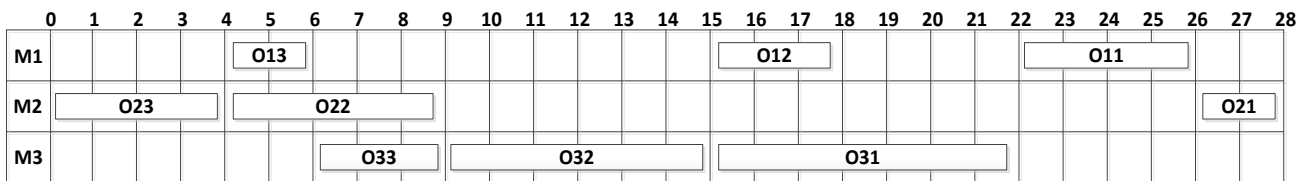
Решење  $S_1 = S_4$

$M_1$ : 3 2 1

$M_2$ : 3 2 1

$M_3$ : 3 2 1

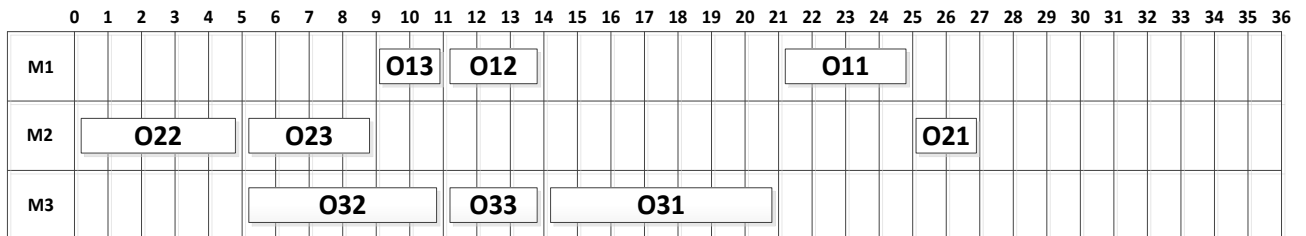
Декодирано решење у почетној популацији са вредношћу функције  $C_{max}(s_1) = 280$  је представљено на Слици 66.



Слика 66: Гантограм првог решења у почетној популацији

Решење  $S_2$

- 3 2 1
- 2 3 1
- 2 3 1

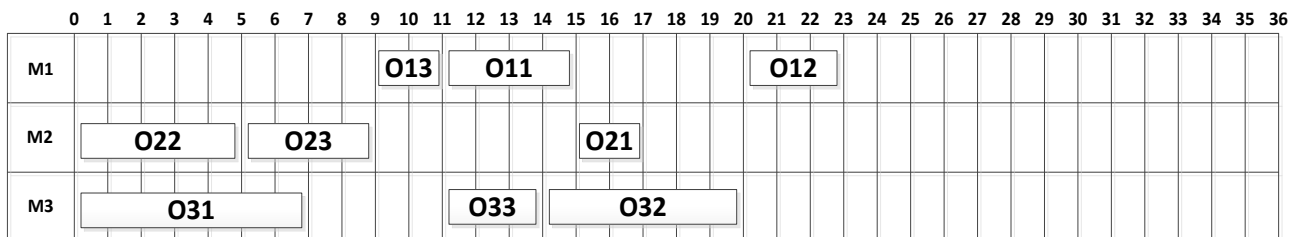


Слика 67: Гантограм другог решења у почетној популацији

Друго решење у почетној популацији са функцијом циља  $C_{max}(s_2) = 270$  је представљено на Слици 67.

Решење  $S_3$ :

- 3 1 2
- 2 3 1
- 1 3 2



Слика 68: Гантограм трећег решења у почетној популацији

Треће решење у почетној популацији са функцијом циља  $C_{max}(s_3) = 230$  је представљено на Слици 68.

### Итерација 1 / Генерација 1:

- 1) **Селекција** – уместо коришћења  $f$ -је погодности која би представљала реципрочну вредност  $C_{max}$ , користи се само директно  $C_{max}$ , па ниже вредности  $C_{max}$  означавају бољу јединку у популацији (Табела 46).

**Табела 46:** Решење у почетној популацији

Ранг	Решење	Функција погодности	Вероватноћа
4	$S_3$	230	4/10
3	$S_2$	270	3/10
2	$S_1$	280	2/10
1	$S_4$	280	1/10

Бирају се  $S_3$  и  $S_2$ :

- 2) **Укрштање** – размена генетског материјала ( $SXX$ )

$S_2$ :            и             $S_3$ :  
3 2 1                        3 1 2  
2 3 1            и            2 3 1  
2 3 1                        1 3 2  
  
                               $SXX$   
 $S_1'$             и             $S_2'$   
3 1 2                        3 2 1  
2 3 1                        2 3 1  
3 2 1                        1 2 3

- 3) **Мутације** – мутирати добијене јединке са вероватноћом.

$S_1'$  – остаје непромењено а  $S_2'$  је мутиран ( $J_3$  се помера за једно место).

$S_2'$   
3 2 1            3 2 1  
2 3 1 => 3 2 1  
1 3 2            1 3 2

- 4) **Декодирање и евалуација:**  $GT$  алгоритам листе се користи за декодирање решења  $S_1'$

3 1 2  
2 3 1  
3 2 1

Корак 1: GT алгоритам:

Полазни проблем:

$J_1: O_{31}; O_{11}; O_{21}$

$J_2: O_{22}; O_{32}; O_{12}$

$J_3: O_{23}; O_{13}; O_{33}$

У Табели 47 је дат поступак поправке и декодирања генерисаног генетског кода помоћу GT алгоритма.

**Табела 47:** Поступак декодирања уз помоћ GT алгоритма

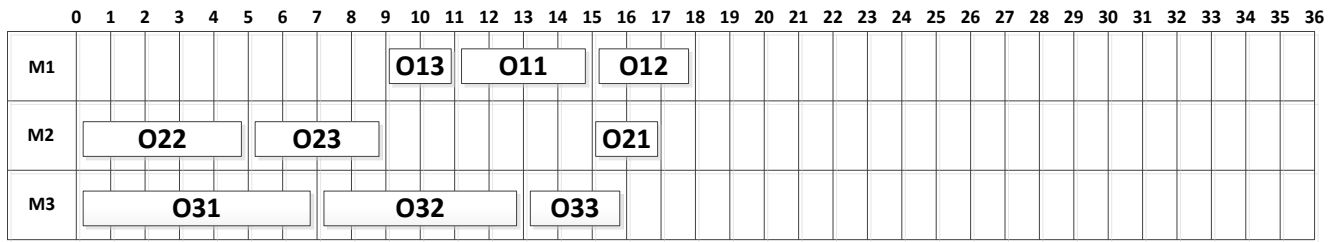
**Извор:** (Zapfel et al., 2010, стр. 225–231)

<b>Корак 1: GT алгоритам:</b>		
Полазни проблем		
$J_1: O_{31}; O_{11}; O_{21}$		
$J_2: O_{22}; O_{32}; O_{12}$		
$J_3: O_{23}; O_{13}; O_{33}$		
$Q:$	$\{O_{31}; O_{22}; O_{23}\}$	
$(s^e_{ij}, c^e_{ij})$	$(0,70); (0,50); (0,40)$	↓
$O_{min}$	$O_{23}$	$M1: 3\ 1\ 2$
Машина	$M2$	$\rightarrow M2: 2\ 3\ 1$
$K:$	$O_{22}; O_{23}$	$M3: 3\ 2\ 1$
		Распоређује се $O_{22}$
<b>Корак 2:</b>		↓
$Q:$	$\{O_{31}; O_{32}; O_{23}\}$	$M1: 3\ 1\ 2$
$(s^e_{ij}, c^e_{ij})$	$(0,70); (50, 110); (50,90)$	$M2: 2\ 3\ 1$
$O_{min}$	$O_{31}$	$\rightarrow M3: 3\ 2\ 1$
Машина	$M3$	Према GT алгоритму (и према полазном
$K:$	$O_{31}; O_{32}$	проблеми) операције $O_{31}; O_{32}$ треба распо-
		редити пре $O_{33}$ (за разлику од распореда који је
		добијен генетским алгоритмом. Због тога се
		врши корекција решења)
		$3\ 1\ 2\quad 3\ 1\ 2$
		$2\ 3\ 1\quad \rightarrow 2\ 3\ 1$
		$3\ 2\ 1\quad 1\ 2\ 3$
		Распоређује се $O_{31}$
<b>Корак 3:</b>		↓
$Q:$	$\{O_{11}; O_{32}; O_{23}\}$	$M1: 3\ 1\ 2$
$(s^e_{ik}, c^e_{ik})$	$(70, 110); (70,130); (50,90)$	$\rightarrow M2: 2\ 3\ 1$
$O_{min}$	$O_{23}$	$M3: 1\ 2\ 3$
Машина	$M2$	Распоређује се $O_{23}$
$K:$	$O_{23}$	

<b>Корак 4:</b>		↓
$Q:$	$\{O_{11}; O_{32}; O_{13}\}$	→ $M1: 3\ 1\ 2$
$(s^e i_k, c^e i_k)$	$(70, 110); (70,130); (90,110)$	... $M2: 2\ 3\ 1$
$O_{min}$	$O_{11}$	$M3: 1\ 2\ 3$
Машина:	$M1$	Распоређује се $O_{13}$
$K:$	$O_{11}; O_{32}; O_{13}$	
<b>Корак 5:</b>		↓
$Q:$	$\{O_{11}; O_{32}; O_{33}\}$	$M1: 3\ 1\ 2$
$(s^e i_k, c^e i_k)$	$(110, 150); (70,130); (110, 140)$	... $M2: 2\ 3\ 1$
$O_{min}$	$O_{32}$	→ $M3: 1\ 2\ 3$
Машина:	$M3$	Распоређује се $O_{32}$
$K:$	$O_{32}; O_{33}$	
<b>Корак 6:</b>		↓
$Q:$	$\{O_{11}; O_{12}; O_{33}\}$	→ $M1: 3\ 1\ 2$
$(s^e i_k, c^e i_k)$	$(110, 150); (130,160); (130, 160)$	... $M2: 2\ 3\ 1$
$O_{min}$	$O_{11}$	$M3: 1\ 2\ 3$
Машина:	$M1$	Распоређује се $O_{11}$
$K:$	$O_{11}; O_{12}$	
<b>Корак 7:</b>		↓
$Q:$	$\{O_{21}; O_{12}; O_{33}\}$	$M1: 3\ 1\ 2$
$(s^e i_k, c^e i_k)$	$(150, 170); (150,180); (130, 160)$	... $M2: 2\ 3\ 1$
$O_{min}$	$O_{33}$	→ $M3: 1\ 2\ 3$
Машина:	$M3$	Распоређује се $O_{33}$
$K:$	$O_{33}$	
<b>Корак 8:</b>		↓
$Q:$	$\{O_{21}; O_{12}\}$	$M1: 3\ 1\ 2$
$(s^e i_k, c^e i_k)$	$(150, 170); (150,180);$	→ $M2: 2\ 3\ 1$
$O_{min}$	$O_{21}$	... $M3: 1\ 2\ 3$
Машина:	$M2$	Распоређује се $O_{21}$
$K:$	$O_{21}$	
<b>Корак 9:</b>		↓
$Q:$	$\{O_{12}\}$	→ $M1: 3\ 1\ 2$
$(s^e i_k, c^e i_k)$	$(150,180);$	$M2: 2\ 3\ 1$
$O_{min}$	$O_{12}$	... $M3: 1\ 2\ 3$
Машина:	$M1$	Распоређује се $O_{12}$
$K:$	$O_{12}$	

Декодирано и кориговано решење  $s_1''$  са вредности функције  $C_{max}(s_1'') = 180$  је представљено на Слици 69.





Слика 69: Гантограм декодираног решења ( $s_1''$ ) у почетној популацији

$s_1''$ :

3 1 2

2 3 1

1 2 3

и  $s_2''$  се може декодирати и добити решења

3 2 1

3 2 1

1 3 2

Сада се прелази на добијање друге генерације. Итерација 2/ Генерација 2 ...итд.

## **ПРИЛОГ 2**

**Прилог 2:** Приказ предлога упитника за мерење нивоа развијености оперативног планирања и управљања ресурсима

Предлог истраживачког упитника за мерење нивоа развијености оперативног планирања производње је представљен у Табели 48.

**Табела 48:** Истраживачки упитник

<p style="text-align: center;"><b>У П И Т Н И К</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ИСТРАЖИВАЊЕ НИВОА РАЗВИЈЕНОСТИ ОПЕРАТИВНОГ ПЛАНИРАЊА ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊА РЕСУРСИМА У МАЛИМ И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА У СРБИЈИ</b></p> <p>Поштовани,</p> <p>Упитник који је пред Вама представља инструмент истраживања у оквиру докторске дисертације, кандидата Зорана Ракићевића, под темом „Подршка оперативном планирању производње и управљању ресурсима у малим и средњим предузећима у Србији“ на Факултету организационих наука Универзитета у Београду.</p> <p>Молимо Вас да пажљиво прочитате и попуните овај упитник, јер је Ваше искуство од великог значаја за проучавање ове теме. Упитник се састоји од 17 питања са понуђеним одговорима. Анкета је анонимна и резултати ће се користити искључиво у сврхе доказивања хипотеза које су постављене у докторској дисертацији.</p> <p>Истраживачки узорак представљају запослени, менаџери и производни „супервизори“ у производним предузећима у Србији.</p> <p>Захваљујем се на сарадњи, Зоран Ракићевић, асистент, Катедра за управљање производњом и услугама Факултет организационих наука</p>
---

ДЕО 1: Основне информације о предузећу		
Бр.	Питање	Одговор
1	Функција (радно место) запосленог који попуњава упитник:	
2	Локација предузећа (град):	
3	Број запослених у предузећу:	
4	Производна делатност предузећа: (наведите конкретну област производње, нпр. производња намештаја)	
5	Који је основни производ предузећа?	
6	Који је доминантан тип производње у предузећу?	а) Појединачна производња; б) Серијска производња (оквирна величина серије _____) ком/кг; в) Масовна производња.
7	Који је доминантан облик производње у предузећу?	а) Производња према поруџбини; б) Монтажа према поруџбини; в) Производња стандардизованих производа.
8	Који су најчешћи проблеми у пословању предузећа? (можете да обележите више понуђених одговора)	а) Недостатак финансијских средстава и тешкоће да се до њих дође под повољним условима; б) Недостатак информација о трендовима на тржишту; в) Недовољно оспособљени кадрови; г) Неадекватна примена информационих технологија; д) Неадекватна организација производног процеса; ђ) Недостатак иновирања и развоја производног програма; е) Неадекватно умрежавање у кластере и удружења; ж) Неадекватна наплата потраживања; з) Проблеми у маркетингу, промоцији и истраживању тржишта; и) Неадекватна стратегија развоја пословања; ј) Неразвијен систем стандардизације и квалитета (ISO); к) Комплексне процедуре за извоз.

## ДЕО 2: Ниво развијености оперативног планирања производње

9	<p>За сваку од доле наведених активности процеса краткорочног (оперативног) планирања производње које реализујете у Вашем предузећу (ставке од <i>a</i> до <i>j</i>), означите ниво на скали од 1 до 5*, где је:</p> <p>1 - <b>Не постоје формално дефинисани планови производње</b> који се односе на посматране активности процеса оперативног планирања производње.</p> <p>2 - Постоје јасно и <b>формално дефинисани оперативни планови производње</b> који су резултат одлуке менаџера производње или/и власника компаније и засновани су на њиховом искуству.</p> <p>3 - Постоје јасно и <b>формално дефинисани оперативни планови производње</b> који су резултат менаџерских одлука заснованих на квантитативним анализама података са тржишта и из производње.</p> <p>4 - Постоје јасно и <b>формално дефинисани оперативни планови производње који се доносе уз помоћ софтвера (ERP система енгл. <i>Enterprise Resource Planning</i>).</b></p> <p>5 - Постоје јасно и <b>формално дефинисани оперативни планови производње</b> који су резултат одлука менаџера заснованих на примени оптимизационих алата (модел, методе, софтвери) или/и система за напредно планирање и распоређивање (енгл. <i>Advanced Planning and Scheduling</i>).</p> <p>* Неозначавање броја (нивоа од 1 до 5) поред наведених активности указује на непостојање одређене активности у вашем предузећу.</p>
<b>Активности процеса оперативног планирања производње које је потребно оценити:</b>	
<i>a)</i>	Предвиђање тражње на кратак рок. 1 2 3 4 5
<i>б)</i>	Планирање ангажовања капацитета на кратак рок (машине и алати). 1 2 3 4 5
<i>в)</i>	Планирање оперативних потреба за сировинама и материјалима у производњи. 1 2 3 4 5
<i>г)</i>	Краткорочно планирање залиха сировина и материјала у производњи. 1 2 3 4 5
<i>д)</i>	Разлагање већих поруџбина на количине које треба произвести у сваком конкретном оперативном периоду. 1 2 3 4 5
<i>ђ)</i>	Одређивање оперативних количина за производњу мимо количина одређених поруџбинама. 1 2 3 4 5
<i>е)</i>	Краткорочно планирање залиха готових производа. 1 2 3 4 5
<i>ж)</i>	Планирање распореда производних активности по расположивим радним местима и машинама. 1 2 3 4 5
<i>з)</i>	Дефинисање редоследа извршавања радних налог и производних активности на машинама и радним местима. 1 2 3 4 5
<i>и)</i>	Израда термин плана производње (планирање почетка и завршетка производних активности). 1 2 3 4 5
<i>ј)</i>	Краткорочно планирање потреба за људским ресурсима у производном процесу (нпр. одређивање потребног броја радника). 1 2 3 4 5
10	<p>Означите ниво организованости оперативног планирања производње у Вашем предузећу (заокружите један број на скали од 1 до 5):</p> <p>1 - Планове креира појединац, власник предузећа или менаџер/супервизор производње;</p> <p>2 - Планове креирају производни менаџери радионице;</p> <p>3 - Постоји групно креирање планова од стране тима оперативних руководиоца погона и запослених у производњи;</p> <p>4 - Приликом креирања планова, доношење одлука се усаглашава са другим организационим јединицама у предузећу (Маркетинг, Финансије, Управљање кадровима, Истраживање и развој, итд.);</p> <p>5 - Приликом креирања оперативних планова, одлуке се усаглашавају са другим учесницима у ланцу снабдевања.</p>

ДЕО 2а: Софистицираност система планирања производње.																															
11	<p>За сваку од доле наведених активности процеса краткорочног (оперативног) планирања производње које реализујете у Вашем предузећу (од <i>a</i> до <i>j</i>), на скали од 1 до 5* означите <b>ниво упознатости са наведеним методама/алатима/софтверима**</b> који се користе за реализацију тих активности, где је:</p> <p>6 - Нисам чуо/ла за поменути методу/алат;  7 - Чуо/ла сам за поменути методу/алат, али је не користим;  8 - Чуо/ла сам за поменути методу/алат и планирам да је применим у оперативном планирању производње;  9 - Чуо/ла сам за поменути методу/алат и користим је повремено у оперативном планирању производње;  10 - Чуо/ла сам за поменути методу/алат и користим је често у оперативном планирању производње.</p> <p>* Неозначавање броја (нивоа од 1 до 5) поред наведених активности указује на непостојање одређене активности у вашем предузећу.  ** Уколико користите софтвер као подршку активностима оперативног планирања, молимо Вас да напишете назив софтвера у одговарајуће поље.</p>																														
<i>a)</i>	<b>Предвиђање тражње</b>																														
	<table border="1"> <tr> <td>Метода покретног просека</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Експоненцијално изравнање</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><i>Holt</i>-ова метода</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><i>Winters</i>-ова метода</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Софтвер: _____</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Метода покретног просека	1	2	3	4	5	Експоненцијално изравнање	1	2	3	4	5	<i>Holt</i> -ова метода	1	2	3	4	5	<i>Winters</i> -ова метода	1	2	3	4	5	Софтвер: _____					
Метода покретног просека	1	2	3	4	5																										
Експоненцијално изравнање	1	2	3	4	5																										
<i>Holt</i> -ова метода	1	2	3	4	5																										
<i>Winters</i> -ова метода	1	2	3	4	5																										
Софтвер: _____																															
<i>б)</i>	<b>Планирање ангажовања капацитета</b>																														
	<table border="1"> <tr> <td>Одређивање уграђеног, расположивог и потребног капацитета</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><i>Capacity Requirements Planning</i> – планирање потребних капацитета</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Агрегатно планирање</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Софтвер: _____</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Одређивање уграђеног, расположивог и потребног капацитета	1	2	3	4	5	<i>Capacity Requirements Planning</i> – планирање потребних капацитета	1	2	3	4	5	Агрегатно планирање	1	2	3	4	5	Софтвер: _____											
Одређивање уграђеног, расположивог и потребног капацитета	1	2	3	4	5																										
<i>Capacity Requirements Planning</i> – планирање потребних капацитета	1	2	3	4	5																										
Агрегатно планирање	1	2	3	4	5																										
Софтвер: _____																															
<i>в)</i>	<b>Оптимизација асортимана производње</b>																														
	<table border="1"> <tr> <td>Линеарно или/и целобројно програмирање</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Софтвер: _____</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Линеарно или/и целобројно програмирање	1	2	3	4	5	Софтвер: _____																							
Линеарно или/и целобројно програмирање	1	2	3	4	5																										
Софтвер: _____																															
<i>г)</i>	<b>Планирање материјалних потреба за производњом</b>																														
	<table border="1"> <tr> <td>Метода <i>MRP / MRP II</i></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Софтвер: _____</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Метода <i>MRP / MRP II</i>	1	2	3	4	5	Софтвер: _____																							
Метода <i>MRP / MRP II</i>	1	2	3	4	5																										
Софтвер: _____																															
<i>д)</i>	<b>Краткорочно планирање залиха сировина и материјала</b>																														
	<table border="1"> <tr> <td><i>ABC</i> анализа</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><i>EOQ (Economic Order Quantity)</i> модел – економични обим поруџбине</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td><i>POQ (Periodic Order Quantity)</i> модел - периодична количина поручивања</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Софтвер: _____</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	<i>ABC</i> анализа	1	2	3	4	5	<i>EOQ (Economic Order Quantity)</i> модел – економични обим поруџбине	1	2	3	4	5	<i>POQ (Periodic Order Quantity)</i> модел - периодична количина поручивања	1	2	3	4	5	Софтвер: _____											
<i>ABC</i> анализа	1	2	3	4	5																										
<i>EOQ (Economic Order Quantity)</i> модел – економични обим поруџбине	1	2	3	4	5																										
<i>POQ (Periodic Order Quantity)</i> модел - периодична количина поручивања	1	2	3	4	5																										
Софтвер: _____																															
<i>ђ)</i>	<b>Одређивање оперативних количина за производњу</b>																														
	<table border="1"> <tr> <td><i>EPQ (Economic Production Quantity)</i> – економична количина производње</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Софтвер: _____</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	<i>EPQ (Economic Production Quantity)</i> – економична количина производње	1	2	3	4	5	Софтвер: _____																							
<i>EPQ (Economic Production Quantity)</i> – економична количина производње	1	2	3	4	5																										
Софтвер: _____																															

<i>e)</i>	<b>Краткорочно планирање залиха готових производа</b>				
	ABC анализа/ техника за класификацију	1	2	3	4 5
	Софтвер: _____				
<i>ж)</i>	<b>Одређивање дужине трајања оперативног периода</b>				
	Метода утврђивања времена покривености тражње залихама	1	2	3	4 5
	Софтвер: _____				
<i>з)</i>	<b>Планирање распореда производних активности по радним местима и машинама</b>				
	Методe асигнације	1	2	3	4 5
	Метода значајних разлика	1	2	3	4 5
	Софтвер: _____				
<i>и)</i>	<b>Дефинисање редоследа извршавања производних активности на машинама и радним местима и терминирање производње</b>				
	Правила приоритета	1	2	3	4 5
	Метахеуристике (методe решавања засноване на логичким правилима, које ефикасно генеришу довољно добро решење, блиска оптималним)	1	2	3	4 5
	<i>Work Load Control</i>	1	2	3	4 5
	<i>KANBAN</i>	1	2	3	4 5
	<i>ConWIP</i>	1	2	3	4 5
	Софтвер: _____				
<i>ј)</i>	<b>Краткорочно планирање потреба за људским ресурсима у производном процесу</b>				
	Одређивање потребног броја радника/извршилаца према количини оперативних активности и обиму посла.	1	2	3	4 5
	Софтвер: _____				
<b>Део 26: Интегрисаност система планирања (повезаност активности и размена података.)</b>					
12	<p>За сваку од доле наведених активности оперативног планирања производње (ставке од <i>a</i> до <i>j</i>), означите ниво интегрисаности у оквиру целокупног система планирања на скали од 1 до 5*, где је:</p> <p>1 - Активност није повезана и не постоји међусобна размена података у оквиру система планирања;</p> <p>2 - Активност је повезана, али се подаци размењују ручним уносом у форме и табеле;</p> <p>3 - Активност је повезана, подаци се размењују путем <i>Excel</i>-а или других програма за рад са табелама;</p> <p>4 - Активност је повезана, подаци се размењују путем аутоматизованог система за електронску размену података који је део система за планирање;</p> <p>5 - Активност је повезана, подаци се размењују путем аутоматизованог и потпуно интегрисаног система за планирање у оквиру софтвера <i>ERP</i>.</p> <p><u>* Неозначавање броја (нивоа од 1 до 5) поред наведених активности указује на непостојање одређене активности у Вашем предузећу.</u></p>				
<b>Активности процеса оперативног планирања производње које је потребно оценити:</b>					
<i>a)</i>	Предвиђање тражње на кратак рок.	1	2	3	4 5
<i>б)</i>	Планирање ангажовања капацитета на кратак рок (машине и алати).	1	2	3	4 5
<i>в)</i>	Планирање оперативних потреба за сировинама и материјалима у	1	2	3	4 5

	производњи.	
з)	Краткорочно планирање залиха сировина и материјала у производњи.	1 2 3 4 5
д)	Разлагање већих поруџбина на количине које треба произвести у сваком конкретном оперативном периоду.	1 2 3 4 5
ђ)	Одређивање оперативних количина за производњу мимо количина одређених поруџбинама.	1 2 3 4 5
е)	Краткорочно планирање залиха готових производа.	1 2 3 4 5
ж)	Планирање распореда производних активности по расположивим радним местима и машинама.	1 2 3 4 5
з)	Дефинисање редоследа извршавања радних налога и производних активности на машинама и радним местима.	1 2 3 4 5
и)	Израда термин плана производње (планирање почетка и завршетка производних активности).	1 2 3 4 5
ј)	Краткорочно планирање људских ресурса у производном процесу (одређивање потребног броја радника).	1 2 3 4 5
<b>Део 2в: Квалификације запослених за управљање производњом</b>		
13	Ваши менаџери и производни „супервизори“ или запослени који су укључени у процес оперативног планирања производње, имају следећи ниво квалификације за управљања производњом: (означите ниво од 1 до 5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 - Немају формално признате квалификације;</li> <li>2 - Имају струковне квалификације (средња стручна спрема);</li> <li>3 - Имају струковне квалификације и похађали су стручне семинаре;</li> <li>4 - Имају високо образовање (завршен факултет);</li> <li>5 - Имају високо образовање (завршен факултет) и похађали су стручне семинаре.</li> </ul>
<b>Део 3: Перформансе производње</b>		
14	На скали од 1 до 5 означите у којој мери сте задовољни следећим перформансама у процесу производње (ставке од а до е), где је:  <ul style="list-style-type: none"> <li>1 - Веома незадовољан;</li> <li>2 - Незадовољан;</li> <li>3 - Неутрално;</li> <li>4 - Делимично задовољан;</li> <li>5 - Веома задовољан.</li> </ul>	
а)	Поштовање рокова испоруке.	1 2 3 4 5
б)	Поштовање рокова у реализацији активности производње	1 2 3 4 5
в)	Правовремена испорука материјала и делова у процесу производње.	1 2 3 4 5
з)	Поштовањем ограниченог радног времена радника и машина.	1 2 3 4 5
д)	Поштовање дефинисаног плана производње.	1 2 3 4 5
ђ)	Поштовање дефинисаног распореда активности производње.	1 2 3 4 5
е)	Свеукупна организација процеса производње	1 2 3 4 5



Део 4: Подршка оперативном планирању производње				
15	Да ли бисте имплементирали следеће приступе оперативном планирању производње?			
	а) Примена правила приоритета у терминирању производње.	ДА	НЕ	НЕ ЗНАМ
	б) Примена метахеуристика у терминирању производње.	ДА	НЕ	НЕ ЗНАМ
16	На скали од 1 до 5 означите у којој мери имате потребу за екстерном експертском подршком у реализацији активности оперативног планирања производње (ставке од а до ј), где је:			
	1 - Никада;			
	2 - Ретко;			
	3 - Понекад;			
	4 - Често;			
	5 - Веома често.			
Активности процеса оперативног планирања производње које је потребно оценити:				
а)	Предвиђање тражње на кратак рок.	1	2	3 4 5
б)	Планирање ангажовања капацитета на кратак рок (машине и алати).	1	2	3 4 5
в)	Планирање оперативних потреба за сировинама и материјалима у производњи.	1	2	3 4 5
г)	Разлагање већих поруџбина на количине које треба произвести у сваком конкретном оперативном периоду.	1	2	3 4 5
д)	Дефинисање главног производног плана	1	2	3 4 5
ђ)	Одређивање оперативних количина за производњу мимо количина одређених поруџбинама.	1	2	3 4 5
е)	Краткорочно планирање залиха готових производа	1	2	3 4 5
ж)	Планирање распореда производних активности по расположивим радним местима и машинама.	1	2	3 4 5
з)	Дефинисање редоследа извршавања радних налога и производних активности на машинама и радним местима.	1	2	3 4 5
и)	Израда термин плана производње (планирање почетка и завршетка производних активности).	1	2	3 4 5
ј)	Краткорочно планирање људских ресурса у производном процесу (нпр. одређивање потребног броја радника).	1	2	3 4 5
17	За који тип подршке бисте се определили у циљу унапређења оперативног планирања производње ? (можете означити више понуђених одговора)			
	а) Консултантски пројекат унапређења;			
	б) Обука запослених и менаџмента;			
	в) Имплементација готовог софтверског пакета (ERP-а) или рачунарске апликације;			
	г) Развој софтвера или рачунарске апликације према специфичним захтевима процеса оперативног планирања производње у предузећу.			

## **ПРИЛОГ 3**

### Прилог 3: Биографија аутора докторске дисертације

## БИОГРАФИЈА

Зоран Ракићевић је рођен 20. јуна 1986. године у Ужицу, Република Србија. Основну школу „Радоје Домановић“ је завршио у Београду, а потом и IX Београдску гимназију „Михајло Петровић - Алас“, природно-математички смер.

Школске године 2005/06 уписао је **основне студије** на Факултету организационих наука у Београду. Дана 24.11.2010. је дипломирао на одсеку за *Операциони менаџмент*, са темом „Планирање набавке у производним и услужним предузећима“ (ментор: проф. др Јасмина Омербеговић-Бијеловић), са највишом оценом (10, десет). Током дипломских академских студија остварио је просечну оцену 8,93.

Школске године 2009/10 уписао је дипломске академске (**мастер**) **студије** на Факултету организационих наука - студијски програм *Инжењерски и операциони менаџмент*, студијска група *Предузетничко управљање малим и средњим предузећима*. Дана 08.02.2012. одбранио је мастер рад на тему "Неки елементи за планирање подршке окружења побољшавању успешности МСП" (ментор: проф. др Јасмина Омербеговић-Бијеловић), са највишом оценом (10, десет). Током мастер студија остварио је просечну оцену 10,00.

Школске године 2010/11, уписао је и друге дипломске академске (**мастер**) **студије** на Факултету организационих наука, опредељујући се за студијски програм *Операциона истраживања и рачунарска статистика*. Дана 28.01.2013. одбранио је мастер рад на тему "Модел и методе решавања проблема распоређивања у планирању производње" (ментор: проф. др Мирјана Чангаловић), са највишом оценом (10, десет). Током мастер студија остварио је просечну оцену 10,00.

Академске школске године 2011/12 уписао је **докторске студије** на Факултету организационих наука, студијски програм: *Информациони системи и менаџмент*, изборно подручје *Операциона истраживања*. Положио је свих девет испита предвиђених планом и програмом студија са просечном оценом 10,00:

1. Комбинаторна оптимизација (проф. др Мирјана Чангаловић);
2. Нови трендови у операционим истраживањима (проф. др Гордана Савић);

3. Нелинеарно програмирање (проф. др Вера Вујчић);
4. Наука о менаџменту (проф. др Мирко Вујошевић);
5. Методологија научно-истраживачког рада (проф. др Добривоје Михаиловић);
6. Управљање ланцима снабдевања – одабрана поглавља (проф. др Мирко Вујошевић);
7. Метакријатике (проф. др Мирјана Чангаловић);
8. Вишекритеријумска оптимизација и одлучивање (проф. др Милан Станојевић);
9. Управљање производњом и услугама (проф. др Даница Лечић-Цветковић).

Зоран Ракићевић је 06.07.2017. године одбранио приступни рад под називом: „Подршка оперативном планирању производње и управљању ресурсима у малим и средњим предузећима“ под менторством др. Данице Лечић-Цветковић, редовног професора Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

Током основних и мастер академских студија, у више наврата, похађао је **практике у различитим производним и услужним предузећима**: „Енергопројект опрема“ а.д., сектор за квалитет (04.08 – 22.08.2008); „Књаз Милош“ а.д., сектор логистике (од 08.09 – 26.09.2008); „Делта Макси“, сектор за складиштење (новембар и децембар 2008); Регионални центар за развој МСПП - Београд д.о.о. (август-септембар 2010); „*Nestle Adriatic*“ д.о.о. - сектор за планирање у ланцу снабдевања (мај-август 2013);

Као члан пројектног тима, учествовао је у реализацији пројекта: Омербеговић-Бијеловић, Ј., Лечић-Цветковић, Д., Бечејски-Вујаклија, Д., Антић, С., Ђорђевић, Л., Ракићевић, З., Атанасов, Н. (2013.), Унапређивање квалитета управљања изабраним подсистемима предузећа „Зелена пијаца“ д.о.о., из Новог Сада – концептуално решење бр. 70028 (научно-истраживачки пројекат, по уговору са привредним друштвом, октобар - децембар 2013).

Зоран Ракићевић је учесник на стратешком пројекту Програм интегралних и интердисциплинарних истраживања, Министарства просвете, науке и технолошког развоја, за период 2011-2018. под називом „Инфраструктура за електронски подржано учење у Србији“ (ев. број пројекта: 47003).

Зоран Ракићевић је, од 15. априла 2010, **запослен на Факултету организационих**

**наука** као сарадник у настави (у периоду: 15.04.2010-14.04.2012) и као асистент (од 15.04.2012) на Катедри за управљање производњом и пружањем услуга.

Учествује у настави на предметима:

- На основним студијама: *Планирање производње и услуга* (редовни предмет IV год.); *Управљање малим и средњим предузећима* (алтернативни предмет IV год.); *Анализа, инжењеринг и менаџмент вредности* (изборни предмети IV год.); *Управљање услугама* (изборни предмет IV год.).
- На мастер студијама: *Планирање операција у ланцима снабдевања* (обавезни предмет); *Предузетништво и управљање МСП* (обавезни предмет); *Предузетнички подухват и бизнис план* (обавезни предмет); *Предузетничко унапређивање управљања МСП* (изборни предмет), *Предузетништво у јавном сектору* (изборни предмет); *Управљање ресурсима* (изборни предмет); *Побољшавање квалитета управљања и решавање проблема* (изборни предмет);

У вредновању педагошког рада сарадника Универзитета у Београду остварио је високе оцене (Табела 49). Од почетка рада на Факултету организационих наука, до спровођења последње анкете, константно је оцењиван високим оценама, преко 4.8 (на скали од 1 до 5). Добитник је награда за најбоље оцењене сараднике на Факултету за школске 2015/16, 2016/17, 2017/2018.

**Табела 49:** Оцене педагошког рада сарадника Универзитета у Београду

Шк.година:	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
Оцена (мах 5)	4,86	4,95	4,99	4,91	4,94	4,82	4,92	4,94	4,91

У оквиру ваннаставних активности, Зоран Ракићевић је учествовао у организацији научних скупова и семинара:

- Скуп привредника и научника СПИН 2011, у организацији Центра за Операциони менаџмент, Факултета организационих наука, као члан Организационог одбора (група: Технички одбор);
- Скуп привредника и научника СПИН 2013, у организацији Центра за Операциони менаџмент, Факултета организационих наука, као члан Организационог одбора (група: Технички одбор);
- Скуп привредника и научника СПИН 2015, у организацији Центра за

- Операциони менаџмент, Факултета организационих наука, као члан Организационог одбора (група: Технички одбор);
- Скуп привредника и научника СПИН 2017, у организацији Центра за Операциони менаџмент, Факултета организационих наука, као члан Организационог одбора (група: Технички одбор);
  - Интернационални симпозијум организационих наука *SymOrg* 2016, у организацији Факултета организационих наука, као члан Организационог одбора (група: Технички одбор).
  - Скуп привредника и научника СПИН 2013, као члан Организационог одбора (група: Технички одбор);
  - Скуп привредника и научника СПИН 2015, као члан Организационог одбора (група: Технички одбор);
  - Скуп привредника и научника СПИН 2017, као члан Организационог одбора (група: Технички одбор);
  - Симпозијум организационих наука *SymOrg* 2016, као члан Организационог одбора (група: Технички одбор).
  - У својству предавача, 2013. је учествовао у реализовању семинара “Животни циклус бизнис-плана”, у организацији Центра за предузетништво и управљање МСП, Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.
  - Као ментор студентске екипе Факултета организационих наука, освојио је прво место на такмичењу у решавању студија случаја, на Факултету техничких наука у Новом Саду, у периоду 4-6. децембар 2009. године.
  - Био је рецензент за међународне часописе: *Journal of Small Business and Enterprise Development* и *Management – Journal of Theory and Practice*, *Asian Journal of Economics, Business, Advances in Research*.
  - Члан је удружења Алумни Асоцијација Операционих Менаџера (ААОМ), Факултета организационих наука.
  - Члан је Српског удружења професионалаца у ланцу снабдевања (СУПЛС), <https://www.supplychain.rs/>

Област интересовања кандидата обухватају: Планирање производње и услуга, оперативно планирање - проблеми терминирања и распоређивања у производњи,

операциони менаџмент, управљање малим и средњим предузећима, предузетништво, подршка окружења.

Кандидат говори, чита и пише на енглеском језику (виши-средњи ниво). Упознат је са радом у следећим софтверским пакетима: *Microsoft Office, AIMMS, Microsoft Navision, Matlab, MiniZinc* и *SPSS*.

Даље се наводи библиографија објављених радова, која илуструје научни рад кандидата Зорана Ракићевића.

**Завршни (дипломски) рад:**

1. **Ракићевић, З.**, (2009). *Планирање набавке у производним и услужним предузећима*, (ментор: Омербеговић-Бијеловић, Ј.), Факултет организационих наука, Београд.

**Завршни (мастер) радови:**

2. **Ракићевић, З.**, (2012). *Неки елементи за планирање подршке окружења побољшавају успешности МСП*, (ментор: Омербеговић-Бијеловић, Ј.), Факултет организационих наука, Београд.
3. **Ракићевић, З.**, (2013). *Модели и методе решавања проблема распоређивања у планирању производње*, (ментор: Чангаловић, М.), Факултет организационих наука, Београд.

**Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20)**

*Рад објављени у истакнутом међународном научном часопису (M22)*

1. **Rakićević, Z.**, Omerbegović-Bijelović, J., & Lečić-Cvetković, D. (2016). A Model for Effective Planning of SME Support Services. *Evaluation and Program Planning*, Vol. 54, pp. 30-40. ISSN: 0149-7189, (DOI: 10.1016/j.evalprogplan.2015.09.004) [SCI-e, IF 2015 = 1.000].

*Радови објављени у националним часописима међународног значаја, верификовани посебном одлуком (M24)*

1. Omerbegović-Bijelović J., **Rakićević Z.**, & Mirković P. (2016). Elements for Designing Stakeholders' Programmes of Encouraging Young People to Engage in Entrepreneurship, *Management – Journal of Theory and Practice*, No. 81, 2016, pp. 1-14. DOI: 10.7595/management.fon.2016.0027.

2. Omerbegović-Bijelović J., **Rakićević Z.**, & Vučinić A. (2016). Is the Public Sector of Serbia Ready for the Entrepreneurial Concept? *Management – Journal of Theory and Practice*, No. 78, 2016, pp. 45-52. DOI: 10.7595/management.fon.2016.0004
3. Atanasov, N., **Rakićević, Z.**, Lečić-Cvetković, D., & Omerbegović-Bijelović (2015). An Approach to Stock Cover Indicator Adequacy. *Management – Journal of Theory and Practice*, No. 73, pp. 41-47. DOI: 10.7595/management.fon.2014.0026
4. **Rakićević, Z.**, & Vujošević, M. (2015). Focus Forecasting in Supply Chain: The Case Study of Fast Moving Consumer Goods Company in Serbia. *Serbian Journal of Management*, 10(1), 3-17. [ISSN 1452-4864].
5. Jaćimović, D., **Rakićević, Z.**, & Omerbegović-Bijelović, J. (2014). Required and Realized Support to Serbian Agricultural Farms at the Beginning of the XXI Century. *Management – Journal of Theory and Practice*, No. 71. pp. 49-55. DOI: 10.7595/management.fon.2014.0011
6. **Rakićević, Z.**, Omerbegović-Bijelović, J., & Lazić-Rašović, G. (2013). SMEs Support Planning Improvement Based on its Suitable Structure. *Management – Journal of Theory and Practice*, No. 68, pp. 31-40. DOI: 10.7595/management.fon.2013.0016

*Радови објављени у осталим међународним часописима*

1. Kostić, K, Marinković, S., & **Rakićević, Z.** (2013). VBA Driven Spreadsheet Interactive Module for Inventory Control Education. *Metalurgia International*, No. 5, pp. 260-267. [ISSN: 1582-2214].
2. Ruso, J., Krsmanovic, M., Trajkovic, A., & **Rakicevic, Z.** (2013). Quality Management in Public e-Administration, *International Journal of Engineering Science and Management*, Vol. 7, No.10, pp. 549-554. [ISSN 2231-3273].

**Радови објављени у зборницима међународних научних скупова (M30)**

*Саопштења са међународних скупова - штампана у целини (M33)*

1. Omerbegović-Bijelović, J., Mirković, P., & **Rakićević, Z.** (2016). Arguments for Designing Programmes for Encouraging the Youth in Serbia Towards Entrepreneurship, In: Jaško O., & Marinković S. (Eds.) *Proceedings of the 15th International Symposium SymOrg 2016*, Zlatibor, Serbia, 10-13 Jun 2016 (pp. 484-494). Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-326-2].



2. **Rakićević, Z.**, Omerbegović-Bijelović, J., & Lečić-Cvetković, D. (2016). Open Source Enterprise Resource Planning: Solution for Production Planning in SMEs, In: Jaško O., & Marinković S. (Eds.) *Proceedings of the 15th International Symposium SymOrg 2016*, Zlatibor, Serbia, 10-13 Jun 2016 (pp. 1003-1010). Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-326-2].
3. Vasić, D., Gregec, N., & **Rakićević, Z.** (2016). Tracking of Key Performance Indicators by Using Control Charts: Case of OEE Stabilization, In: Jaško O., & Marinković S. (Eds.) *Proceedings of the 15th International Symposium SymOrg 2016*, Zlatibor, Serbia, 10-13 Jun 2016 (pp. 947-953). Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-326-2].
4. **Rakićević, Z.** Ljamić-Ivanović, B., Omerbegović-Bijelović, J. (2015). Spremnost studenata na preduzetništvo: Studija slučaja „Univerzitet u Beogradu 2014“ (pp. 239-248). In: Vuković, K., Brčić, R., Klačmer Čalopa, M. *Book of Proceedings, 5th South-East European Conference*, „Entrepreneurial society: Current trends and future prospects in entrepreneurship, organization and management“, Faculty of Organization and Informatics, University of Zagreb, 25-26th September 2015, Varaždin, Croatia. [ISBN: 978-953-6071-50-0].
5. **Rakićević, Z.**, Ljamić-Ivanović, B., & Omerbegović-Bijelović, J. (2014) Survey on Entrepreneurial Readiness: Management vs Engineering Students in Serbia. In: Marković, A., & Barjaktarović Rakočević, S. (Eds.) *Proceedings of the 14th International Symposium SymOrg 2014*, Zlatibor, Serbia, 6-10 Jun 2014 (pp. 551-560). Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-295-1].
6. Omerbegović-Bijelović, J., Atanasov, N., & **Rakićević, Z.** (2014). Improvement of Planning System in Supply Chains and Software Support. In: Marković, A., & Barjaktarović-Rakočević, S. (Eds.) *Proceedings of the 14th International Symposium SymOrg 2014*, Zlatibor, Serbia, 6-10 Jun 2014 (pp. 1239-1249). Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-295-1].
7. Krsmanovic, M., **Rakicevic, Z.**, & Ruso, J. (2014). Level of Quality Costs Modelling and Application in the Practice, *11th Annual International Conference on SMEs, Entrepreneurship and Innovation: Management – Marketing – Economic - Social Aspects*, 28-31 July 2014, Athens, Greece.
8. Ruso, J., Krsmanovic, M., Trajkovic, A., & **Rakicevic, Z.** (2013) Quality

- Management in Public e-Administration, ICEBML 2013: *International Conference on e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning*, 22-23 October 2013, Dubai. United Arab Emirates.
9. Omerbegović-Bijelović, J., Antić, S., Djordjević, L., **Rakićević, Z.**, & Atanasov, N. (2013). Planning Tools for SMEs Management Quality Improvement in Supply Chains: Case Study in Water Distribution, VII International Conference on Logistics in Agriculture, Maribor, Slovenia. [ISBN 978-961-6562-85-0].
  10. Atanasov, N., Lecic-Cvetković, D., **Rakićević, Z.**, Omerbegovic-Bijelović, J., & Dorđević, L. (2013). An Approach to Lean Inventory Management by Balanced Stock Cover. In: Slović, D. (Ed.) *2<sup>nd</sup> International Scientific Conference on Lean Technologies (LeanTech '13)*, Belgrade, Serbia, 5-6 september 2013 (pp. 159-166), Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-283-8].
  11. **Rakićević, Z.**, Omerbegović-Bijelović, J., & Lazić-Rašović, G. (2012). Improvement of SMEs Environmental Support Planning Based on New Structure of Support Determination, In: Levi Jakšić, M., & Barjaktarević Rakočević, S. (Eds.) *Proceedings of the 13th International Symposium SymOrg 2012*, Zlatibor, Serbia, 5-9 Jun 2012 (pp. 634- 642). Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-255-5].
  12. Omerbegović-Bijelović, J., **Rakićević, Z.**, & Vučković, M. (2012). SME Management Quality Development by Improvement of Performances “Plans Content” and “Connection of Plans“, In: Levi Jakšić, M., & Barjaktarević Rakočević, S. (Eds.) *Proceedings of the 13th International Symposium SymOrg 2012*, Zlatibor, Serbia, 5-9 Jun 2012 (pp. 1622-1632). Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-255-5].
  13. **Rakićević, Z.**, Omerbegović-Bijelović, J., & Ivkić, I. (2011). Analysing the Efficiency of Ski Resorts in Serbia Using Data Envelopment Analysis, *15<sup>th</sup> International Scientific Conference on Industrial Systems (IS '11)*, Novi Sad, Serbia (pp. 506-511). [ISBN: 978-86-7892-341-8].
  14. Omerbegović-Bijelović, J., Lazić-Rašović, G., & **Rakićević, Z.** (2010). Upravljanje procesom otklanjanja uskih grla. In: Damjanović, V. (Ed.) *Proceedings of 12th International Symposium SymOrg*, Zlatibor, Serbia, 9-12 Jun 2010 (p. 122) Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-216-6].

15. **Rakićević, Z.**, Lazić-Rašović, G., & Ljamić-Ivanović, B. (2010). Razvoj malih i srednjih preduzeća inoviranjem tehnologija. In: Damjanović, V. (Ed.) *Proceedings of 12th International Symposium SymOrg*, Zlatibor, Serbia, 9-12 Jun 2010 (p. 449) Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-216-6].
16. Антић, С., & **Ракићевић, З.** (2010). Логистички спредшит модел за награђивање возача у компанији ИДЕА. In: Damjanović, V. (Ed.) *Proceedings of 12th International Symposium SymOrg*, Zlatibor, Serbia, 9-12 Jun 2010 (p. 117). Belgrade, Faculty of Organizational Sciences. [ISBN: 978-86-7680-216-6].

*Саопштења са међународних скупова - штампана у изводу (M34)*

1. **Rakićević, Z.** (2016). Just-in-time Criteria in Job Shop Scheduling: MiniZinc Formulation. In: Vigo, D. & Józefowska, J. *Proceedings of the 28th European Conference on Operations research - EURO 2016*, Poznan, Poland July 3-6th 2016, section WB-34: Realistic Production Scheduling (p. 317).
2. Jaćimović, D., Omerbegović-Bijelović, J., & **Rakićević, Z.**, (2014). Survey on Conditions of Agricultural Farms in Serbia. *AgroSym 2014, Book of Proceedings*, p. 450. [ISBN 978-99955-751-9-9]
3. **Rakićević Z.**, Kojić J., (2012). Optimization Approach for Measuring the Ecological Suitability of Product Packaging. *25<sup>th</sup> European Conference on Operational Research - EURO 2012*, Vilnius, Lithuania, 8-11 July 2012. p. 144.
4. Omerbegović-Bijelović, J., & **Rakićević, Z.**, (2010). Operative Planning of Resources and Operations in Long-term Planning Context, *EURO 2010 Conference*, Lisabon, Portugal.
5. **Rakićević, Z.**, & Omerbegović-Bijelović, J. (2010). Integral Model of Entrepreneurship for Regional Waste Management. *EURO 2010 Conference*, Lisabon, Portugal.

**Радови објављени у часописима националног значаја (M50)**

*Рад објављен у часопису националног значаја (M52)*

1. **Rakićević, Z. M.**, & Vujošević, M. B. (2015). Analysis of Dispatching Rules Application on Scheduling Problem in Flexible-Flow Shop Production. *Technics special edition*, 70, pp. 119-125. DOI:10.5937/tehnika1403507R [ISSN 0040-2176].
2. **Ракићевић, З. М.**, & Вујошевић, М. Б. (2014). Анализа примене правила

приоритета на проблему распоређивања у флексибилно проточној производњи. *Техника*, 69(3), 507-513. [ISSN 0040-2176].

3. **Ракићевић, З.**, & Којић, Ј. (2013). LEKIN - Рачунарски програм за решавање проблема распоређивања у планирању производње, *Инфо М*, No. 46, pp. 27-33. [ISSN: 1451-4397]. UDC 006:004.42.

### **Радови објављени у зборницима са скупова националног значаја (М60)**

*Саопштења са скупова националног значаја - штампана у целини (М63)*

1. **Ракићевић, З.** (2017). Преглед проблема *Job Shop*: карактеристике и методе решавања. У: Ћировић, Г. *Зборник радова XLIV Симпозијум о операционим истраживањима СимОпИс 2017*, Златибор 25-28 септембар 2017. стр. 852-858. Висока грађевинско-геодетска школа, Београд. [ISBN 978-86-7488-135-4].
2. Омербеговић-Бијеловић Ј., Ћировић, Д., **Ракићевић, З.**, (2017). Углед МСП и како мерити и побољшати његов квалитет. У: Васиљевић, Д. & Ђорђевић, Л. *Штедљиво (Lean) управљање ресурсима у привреди Републике Србије*. Зборник радова XI Скуп привредника и научника СПИН '17, 9-10 новембар 2017. стр. 302-309. Факултет организационих наука, Београд. [ISBN: 978-86-7680-343-9].
3. **Ракићевић, З.**, Лечић-Цветковић, Д., Омербеговић-Бијеловић Ј., (2017) Планирање ресурса МСП решавањем дворесурсно ограниченог *Job Shop* –а. У: Васиљевић, Д. & Ђорђевић, Л. *Штедљиво (Lean) управљање ресурсима у привреди Републике Србије*. Зборник радова XI Скуп привредника и научника СПИН '17., 9-10 новембар 2017. стр. 129-136 Факултет организационих наука, Београд. [ISBN: 978-86-7680-343-9].
4. Лечић-Цветковић, Д., **Ракићевић, З.**, Омербеговић-Бијеловић Ј., (2017) *Lean* приступ у покретању предузетничких подухвата. У: Васиљевић, Д. & Ђорђевић, Л. *Штедљиво (Lean) управљање ресурсима у привреди Републике Србије*. Зборник радова XI Скуп привредника и научника СПИН '17. 9-10 новембар 2017. стр. 294-301. Факултет организационих наука, Београд. [ISBN: 978-86-7680-343-9].
5. **Ракићевић, З.**, Станојевић, М. (2016). Правовремено распоређивање у *Job shop* проблему: приступ вишекритеријумске оптимизације. У: Илић, А., Петровић, Д. и Стојковић, Д. (Ед.) Зборник XLIII Симпозијума о операционим

- истраживањима, Тара, Србија, 20-23. септембар (стр. 457-460)., Медија центар „Одбрана“, Београд. [ISBN: 978-86-335-0535-2].
6. **Ракићевић, З.**, Омербеговић-Бијеловић, Ј., & Љамић-Ивановић, Б. (2015). Виртуелно предузетништво: образовање као подршка предузетничкој спремности студената. стр. 635-641. У: Станишић, М. Зборник радова, *Synthesis* 2015, Међународна научна конференција из области информационих технологија и савременог пословања, 16 – 17 Април 2015. Универзитет Сингидунум. [ISBN: 978-86-7912-595-8].
  7. **Ракићевић, З.**, Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2015). Побољшавање универзитетског образовања за планирање производње и пружања услуга као допринос ревитализацији привреде Србије. стр. 18-25. У: Стошић, Б., Петровић, Н., Антић, С., Зборник радова, X Скуп привредника и научника СПИН'15, Иновативна решења операционог менаџмента за ревитализацију привреде Србије, 5 - 6. новембар 2015, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија. [ISBN 978-86-7680-320-0].
  8. Омербеговић-Бијеловић, Ј., **Ракићевић, З.**, Вучинић, А. (2015). Истраживање упознатости запослених у јавном сектору са предузетништвом. стр. 263-270. У: Стошић, Б., Петровић, Н., Антић, С. Зборник радова, X Скуп привредника и научника СПИН'15, Иновативна решења операционог менаџмента за ревитализацију привреде Србије, 5 - 6. новембар 2015, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија. [ISBN 978-86-7680-320-0].
  9. Атанасов, Н., **Ракићевић, З.**, Лечић-Цветковић, Д., & Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2013). Један приступ ка адекватности индикатора покривености тражње залихама. У Лечић-Цветковић, Д., & Леви-Јакшић, М. (Ед.) Зборник IX Скупа привредника и научника СПИН '13, Београд, Србија, 05-06. новембар 2013. (стр. 273-280), Факултет организационих наука. [ISBN 978-86-7680-288-3].
  10. **Ракићевић, З.**, Јаћимовић, Д. & Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2013). Потребна и остварена подршка пољопривредним газдинствима Србије почетком XXI века. У Лечић-Цветковић, Д., & Леви-Јакшић, М. (Ед.) Зборник IX Скупа привредника и научника СПИН '13, Београд, Србија, 05-06. новембар 2013. (стр. 197-203), Факултет организационих наука. [ISBN 978-86-7680-288-3].

11. **Ракићевић, З.**, Ивкић, И., & Савић, Г. (2013). Анализа ефикасности скијашких центара Србије применом ДЕА методе. У М. Мартић, М. Вујошевић, Д. Макајић-Николић, М. Кузмановић, & Г. Савић (Ед.) Зборник XL Симпозијума о операционим истраживањима, Златибор, Србија, 9-12. септембар (стр. 587-592). Смедерево, New press. [ISBN: 978-86-7680-286-9].
12. **Ракићевић, З.**, & Којић, Ј. (2013). Рачунарски програм LEKIN за решавање проблема распоређивања у планирању производње, XIX Научно-стручна и бизнис конференција – *Yu Info* 2013, стр. 200-205. [ISSN: 978-86-85525-11-7].
13. **Ракићевић, З.**, Савић, Г., & Ивкић, И. (2011). ДЕА приступ у анализи ефикасности скијашких центара. У Вулета, Ј., Бацковић, М., & Поповић, З. (Ед.) Зборник XXXVIII Симпозијума о операционим истраживањима, Златибор, Србија, 4-7. октобар 2011. (стр. 38-41). Београд, Чугура Принт. [ISBN: 978-86-403-1168-7].
14. Добрић, В., **Ракићевић, З.**, & Радојевић, Д. (2010). Нови приступ мерењу перформанси ланца снабдевања. У: Форца, В., Ковач, М., Чабаркапа, О., & Петровић, Д. (Ед.) Зборник XXXVII Симпозијума о операционим истраживањима, Тара, Србија, 21-24. септембар 2010. (стр. 431-434). Београд, Војна штампарија. [ISBN: 978-86-335-0299-3].
15. Антић, С., Голубовић, М., & **Ракићевић, З.** (2010)., Један пример модела управљања залихама у спредштитовима. XIV YU-INFO Конференција, Копаоник. [ISBN 978-86-85525-05-6].

*Саопштења са скупова националног значаја - штампана у изводу (М64)*

1. **Ракићевић, З.**, & Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2012), Планирање адекватне подршке малим и средњим предузећима, Међународна конференција *STED*, 28-29. септембар 2012, Бања Лука, стр 13.

## **ПРИЛОГ 4**

Прилог 4а: Изјава о ауторству

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Потписани: Зоран Ракићевић

Број индекса: 5005/2011

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

#### ПОДРШКА ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРАЊУ ПРОИЗВОДЊЕ И УПРАВЉАЊУ РЕСУРСИМА У МАЛИМ И СРЕДЊИМ ПРЕДУЗЕЋИМА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанда**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**Прилог 46:** Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

## **ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА**

Име и презиме аутора: Зоран Ракићевић

Број индекса: 5005/2011

Студијски програм Информациони системи и менаџмент

Наслов рада: Подршка оперативном планирању производње и управљању ресурсима у малим и средњим предузећима

Ментор Проф. др Даница Лечић-Цветковић

Потписани/а Зоран Ракићевић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис докторанда**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Прилог 4в: Изјава о коришћењу**

**ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ**

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Подршка оперативном планирању производње и управљању ресурсима у малим и средњим предузећима

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (*Creative Commons*) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

У Београду, \_\_\_\_\_

**Потпис докторанда**

\_\_\_\_\_

1. Ауторство - Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.