



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U NOVOM SADU



Danijela Gračanin

**UNAPREĐENJE EFIKASNOSTI PROIZVODNIH  
PROCESA RAZVOJEM PROŠIRENOG  
MODELA TOKA VREDNOSTI**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2014



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, <b>РБР:</b>	
Идентификациони број, <b>ИБР:</b>	
Тип документације, <b>ТД:</b>	Монографска публикација
Тип записа, <b>ТЗ:</b>	Текстуални штампани материјал
Врста рада, <b>ВР:</b>	Докторска дисертација
Аутор, <b>АУ:</b>	Данијела Грачанин
Ментор, <b>МН:</b>	др Борут Бухмајстер, редовни професор
Наслов рада, <b>НР:</b>	Унапређење ефикасности производних процеса развојем проширеног модела тока вредности
Језик публикације, <b>ЈП:</b>	српски
Језик извода, <b>ЈИ:</b>	српски
Земља публикавања, <b>ЗП:</b>	Република Србија
Уже географско подручје, <b>УГП:</b>	Војводина
Година, <b>ГО:</b>	2014
Издавач, <b>ИЗ:</b>	Ауторски репринт
Место и адреса, <b>МА:</b>	Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад
Физички опис рада, <b>ФО:</b> (поглавља/страна/цитата/табела/слика/графика/прилога)	6/150/122/38/107/0/0
Научна област, <b>НО:</b>	Инжењерски менаџмент
Научна дисциплина, <b>НД:</b>	Симулација процеса рада
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО:</b>	Лин производња, мапирање тока вредности, рачуноводство засновано на току вредности, временско-трошковни профил, временско-трошковно улагање, симулација дискретних догађаја
<b>УДК</b>	
Чува се, <b>ЧУ:</b>	Библиотека Факултета техничких наука
Важна напомена, <b>ВН:</b>	
Извод, <b>ИЗ:</b>	У оквиру дисертације се испитује утицај акумулације трошкова у времену на избор одговарајућих мера за унапређење и повећање ефикасности производних процеса. Овај утицај је стављен у контекст лин производње и процеса мапирања тока вредности, али је испитиван и утицај избора правила распоређивања радних налога, односно терминског планирања на временско-трошковно улагање. Као резултат истраживања и оригиналан научни допринос ове дисертације предложени су коефицијенти улагања и ефикасности мера унапређења који се користе, на првом месту за избор одговарајуће мере унапређења, а затим и за дефинисање приоритета спровођења мера.
Датум прихватања теме, <b>ДП:</b>	15.07.2013.
Датум одбране, <b>ДО:</b>	
Чланови комисије, <b>КО:</b>	Председник: др Илија Ћосић, ред. проф
	Члан: др Здравко Тешић, ван. проф
	Члан: др Радо Максимовић, ред. проф
	Члан: др Властимир Николић, ред. проф
	Члан: др Бојан Лалић, доцент
	Члан, ментор: др Борут Бухмајстер, ред. проф.
	Потпис ментора



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b> :	Textual material, printed
Contents code, <b>CC</b> :	Ph.D. Thesis
Author, <b>AU</b> :	Danijela Gračanin
Mentor, <b>MN</b> :	prof. Borut Buchmeister, Ph.D.
Title, <b>TI</b> :	Improving manufacturing efficiency by developing expanded value stream model
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	2014
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	6/150/122/38/107/0/0
Scientific field, <b>SF</b> :	Engineering Management
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Process Simulation
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Lean production, value stream mapping, value stream costing, cost-time profile, cost-time investment, discrete event simulation
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	Library of Faculty of Technical Sciences
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	<p>This dissertation examines the impact of the cost accumulation over the time on the selection of appropriate measures to improve and increase the efficiency of production processes. This effect has been put into the context of lean production and value stream mapping, but there is also examines the impact of job shop scheduling on cost-time investment. As a result of research and original scientific contribution of this thesis two coefficients are proposed: coefficient of investment and coefficient of measure efficiency that can be used in the first place for the selection of appropriate measure for the improvement, and then to define the priorities for implementing the improvement measures.</p>
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	2013/07/15
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	President: prof. Ilija Ćosić, Ph.D.
	Member: prof. Zdravko Tešić, Ph.D.
	Member: prof. Rado Maksimović, Ph.D.
	Member: prof. Vlastimir Nikolić, Ph.D.
	Member: prof. Bojan Lalić, Ph.D.
Member, Mentor::	prof. Borut Buchmeister, Ph.D.
	Потпис ментора

## Spisak slika

Slika 1. Vremenska linija – osnov za povećanje efikasnosti.....	8
Slika 2. Okvir implementacije Toyota proizvodnog sistema .....	16
Slika 3. Gradivni elementi lean proizvodnje .....	18
Slika 4. Razlozi za implementaciju <i>lean</i> metodologije .....	19
Slika 5. Elementi toka vrednosti.....	26
Slika 6. Faze uvođenja organizacije zasnovane na toku vrednosti.....	27
Slika 7. Mapa toka vrednosti – opšti primer.....	31
Slika 8. Odnos računovodstva troškova, finansijskog i upravljačkog računovodstva.....	36
Slika 9. Redosled dodeljivanja troškova nosiocima troška .....	43
Slika 10. Raspored troškova duž toka vrednosti .....	47
Slika 11. Gradivni blokovi mape toka vrednosti i troškova .....	48
Slika 12. Vremensko-troškovni profil .....	51
Slika 13. Metod mapiranja aktivnosti i troškova u lancu snabdevanja .....	54
Slika 14. Dijagram toka informacija u proizvodnom sistemu .....	56
Slika 15. Gantov dijagram (a) orijentisan prema mašinama (b) orijentisan prema radnim nalogima .....	57
Slika 16. Komponente simulacijskog modelovanja .....	64
Slika 17. Položaj modelovanja i simulacija u mapiranju toka vrednosti.....	67
Slika 18. Osnovni podaci o softveru.....	69
Slika 19. Moguće opcije za izbor proizvodnog okruženja .....	70
Slika 20. Ekranska forma za definisanje broja radnih centara i broja radnih naloga .....	70
Slika 21. Ekranska forma za unos podataka o radnim centrima i radnim nalogima.....	71
Slika 22. Izbor pravila raspoređivanja.....	71
Slika 23. Terminski plan (Gantov dijagram).....	72
Slika 24. Grafik postavljene funkcije cilja .....	72
Slika 25. Osnovni podaci o softveru.....	73
Slika 26. Ekranska forma za unos osnovnih podataka o projektu .....	74
Slika 27. Ekranska forma za unos podataka o preduzeću .....	74
Slika 28. Ekranska forma – podaci o radniku.....	75
Slika 29. Ekranska forma – podaci o mašinama.....	75
Slika 30. Ekranska forma za unos podataka o aktivnostima .....	75
Slika 31. Vremensko-troškovni profil sa podacima .....	76
Slika 32. Proračun troškova.....	76
Slika 33. Iskorišćenost radnika i mašina .....	76
Slika 34. Informacije o softveru Arena .....	77
Slika 35. Početna ekranska forma .....	78
Slika 36. Ekranska forma za unos parametara elemenata modela.....	78
Slika 37. Izgled modela i pokretanje simulacije.....	79
Slika 38. Izveštaji u softveru Arena .....	79
Slika 39. Terminski plan – CR pravilo raspoređivanja radnih naloga .....	85
Slika 40. Vremensko-troškovni profil za CR pravilo raspoređivanja i ulazak materijala na početku procesa .....	86
Slika 41. Terminski plan – EDD pravilo raspoređivanja radnih naloga.....	87
Slika 42. Vremensko-troškovni profil za EDD pravilo raspoređivanja i ulazak materijala na početku procesa .....	88
Slika 43. Terminski plan – FCFS pravilo raspoređivanja radnih naloga.....	89
Slika 44. Vremensko-troškovni profil za FCFS pravilo raspoređivanja i materijal na početku 90	

Slika 45. Terminski plan – LPT pravilo raspoređivanja radnih naloga.....	91
Slika 46. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i materijal na početku ..	92
Slika 47. Terminski plan – MS pravilo raspoređivanja radnih naloga .....	93
Slika 48. Vremensko-troškovni profil za MS pravilo raspoređivanja i materijal na početku ...	94
Slika 49. Terminski plan – SPT pravilo raspoređivanja radnih naloga .....	95
Slika 50. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i materijal na početku ..	96
Slika 51. Terminski plan – ATCS pravilo raspoređivanja radnih naloga.....	97
Slika 52. Vremensko-troškovni profil za ATCS pravilo raspoređivanja i materijal na početku	98
Slika 53. Terminski plan – General SB routine pravilo raspoređivanja radnih naloga .....	99
Slika 54. Vremensko-troškovni profil za SB routine pravilo raspoređivanja i materijal na početku .....	100
Slika 55. Terminski plan – Shifting Bottleneck/SUM(wT) pravilo raspoređivanja radnih naloga	101
Slika 56. Vremensko-troškovni profil za Shifting Bottleneck/SUM(wT) pravilo raspoređivanja i materijal na početku .....	102
Slika 57. Terminski plan – Local search (Makespan) pravilo raspoređivanja radnih naloga .	103
Slika 58. Vremensko-troškovni profil za Local search (Makespan) pravilo raspoređivanja i materijal na početku .....	104
Slika 59. Terminski plan – Shifting bottleneck/Tmax – DASH pravilo raspoređivanja radnih naloga .....	105
Slika 60. Vremensko-troškovni profil za Shifting bottleneck/Tmax – DASH pravilo raspoređivanja i materijal na početku.....	106
Slika 61. Vremensko-troškovni profil za CR pravilo raspoređivanja i JIT materijal.....	108
Slika 62. Vremensko-troškovni profil za EDD pravilo raspoređivanja i JIT materijal.....	108
Slika 63. Vremensko-troškovni profil za FCFS pravilo raspoređivanja i JIT materijal.....	109
Slika 64. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i JIT materijal .....	109
Slika 65. Vremensko-troškovni profil za MS pravilo raspoređivanja i JIT materijal .....	110
Slika 66. Vremensko-troškovni profil za MS pravilo raspoređivanja i JIT materijal .....	110
Slika 67. Vremensko-troškovni profil za ATCS pravilo raspoređivanja i JIT materijal.....	111
Slika 68. Vremensko-troškovni profil za SB Routine pravilo raspoređivanja i JIT materijal.	111
Slika 69. Vremensko-troškovni profil za Shifting Bottleneck/SUM(wT) pravilo raspoređivanja i JIT materijal .....	112
Slika 70. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i JIT materijal	112
Slika 71. Vremensko-troškovni profil za Shifting Bottleneck- DASH pravilo raspoređivanja i JIT materijal .....	113
Slika 72. Terminski plan za slučaj kada nema čekanja radnih naloga na tehnološki sistem...	115
Slika 73. Vremensko-troškovni profil – bez čekanja i JIT ulazak materijala.....	115
Slika 74. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 15% .....	116
Slika 75. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 15% .....	116
Slika 76. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 15% .....	117
Slika 77. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 30% .....	117
Slika 78. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 30% .....	118
Slika 79. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 30% .....	118

Slika 80. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 15% .....	119
Slika 81. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 15% .....	120
Slika 82. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 15% .....	120
Slika 83. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 30% .....	121
Slika 84. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 30% .....	121
Slika 85. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 30% .....	122
Slika 86. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 15% .....	123
Slika 87. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 15% .....	123
Slika 88. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 15% .....	124
Slika 89. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 30% .....	124
Slika 90. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 30% .....	125
Slika 91. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 30% .....	125
Slika 92. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i vreme trajanja svake aktivnosti smanjeno za 1 sat .....	126
Slika 93. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i vreme trajanja svake aktivnosti smanjeno za 1 sat .....	127
Slika 94. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i vreme trajanja svake aktivnosti smanjeno za 1 sat .....	127
Slika 95. Varijante izgleda vremensko-troškovnog profila .....	135
Slika 96. Osnovni model procesa .....	141
Slika 97. Podmodel za radni nalog A .....	142
Slika 98. Podmodel za radni nalog B .....	142
Slika 99. Podmodel za radni nalog C .....	142
Slika 100. Podmodel za radni nalog D .....	142
Slika 101. Podmodel za radni nalog E .....	143
Slika 102. Podmodel za radni nalog F .....	143
Slika 103. Podmodel za radni nalog G .....	143
Slika 104. Izveštaj o ukupnim troškovima po radnim nalogima .....	144
Slika 105. Izveštaj o ukupnim troškovima po radnim nalogima .....	144
Slika 106. Primer vremensko-troškovnog profila za slučaj kasnog dodavanja vrednosti proizvodu .....	145
Slika 107. Dijagram toka odlučivanja za izbor mera unapređenja proizvodnog procesa .....	147

## Spisak tabela

Tabela 1. Sedam alata za mapiranje toka i identifikaciju gubitaka .....	15
Tabela 2. Simboli za mapiranje toka vrednosti i značenje .....	28
Tabela 3. Ulazni podaci za terminsko planiranje (reprezentativni uzorak).....	80
Tabela 4. Podaci o troškovima materijala po radnim nalogima .....	83
Tabela 5. Podaci o radnicima i tehnološkim sistemima .....	83
Tabela 6. Podaci o performansama sistema .....	84
Tabela 7. Podaci o aktivnostima za CR pravilo raspoređivanja .....	85
Tabela 8. Podaci o aktivnostima za EDD pravilo raspoređivanja .....	87
Tabela 9. Podaci o aktivnostima za FCFS pravilo raspoređivanja .....	89
Tabela 10. Podaci o aktivnostima za LPT pravilo raspoređivanja .....	91
Tabela 11. Podaci o aktivnostima za MS pravilo raspoređivanja.....	93
Tabela 12. Podaci o aktivnostima za SPT pravilo raspoređivanja .....	95
Tabela 13. Podaci o aktivnostima za ATCS pravilo raspoređivanja .....	97
Tabela 14. Podaci o aktivnostima za General SB routine pravilo raspoređivanja .....	99
Tabela 15. Podaci o aktivnostima za Shifting Bottleneck/SUM(wT) pravilo raspoređivanja	101
Tabela 16. Podaci o aktivnostima za Local search (Makespan) pravilo raspoređivanja .....	103
Tabela 17. Podaci o aktivnostima za Shifting bottleneck/Tmax – DASH pravilo raspoređivanja	105
Tabela 18. Podaci o vremensko-troškovnom ulaganju i direktnim troškovima .....	107
Tabela 19. Podaci o ceni materijala.....	107
Tabela 20. Podaci o vremensko-troškovnom ulaganju i direktnim troškovima za JIT ulazak	113
materijala .....	113
Tabela 21. Podaci o aktivnostima za slučaj da nema čekanja u sistemu .....	114
Tabela 22. Podaci o rokovima završetka radnih naloga za slučaj da nema čekanja.....	115
Tabela 23. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja cene	119
materijala .....	119
Tabela 24. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja cene	122
radnog sata radnika.....	122
Tabela 25. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja cene	126
tehnoloških sistema i održavanja.....	126
Tabela 26. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja vremena	128
trajanja aktivnosti za 1 sat .....	128
Tabela 27. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za različita pravila	130
terminiranja .....	130
Tabela 28. Uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za različite sisteme	131
ulaska materijala u proces .....	131
Tabela 29. Uporedni podaci o vrednostima direktnih troškova .....	132
Tabela 30. Uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja	132
cene materijala.....	132
Tabela 31. Uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja	133
cene radnog sata radnika .....	133
Tabela 32. Uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja	133
cene tehnološkog sistema i održavanja.....	133
Tabela 33. Uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja	134
vremena trajanja operacija.....	134
Tabela 34. Koeficijent ulaganja za slučaj ulaska materijala na početku procesa .....	135
Tabela 35. Koeficijent ulaganja za slučaj <i>JIT</i> sistema ulaska materijala .....	136

Tabela 36. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za Local search pravilo raspoređivanja i primenjene mere unapređenja .....	137
Tabela 37. Koeficijent ulaganja za planirano vreme .....	138
Tabela 38. Koeficijent efikasnosti mera.....	139



## REZIME

Savremeni uslovi poslovanja podrazumevaju da preduzeća konstantno moraju da uvode promene u načinu poslovanja, sa ciljem što boljeg zadovoljenja zahteva kupca, u što kraćem vremenu sa što nižim troškovima i da se sve to realizuje na način koji je bolji od onog kako to radi konkurencija. Preduzeća konstantno moraju da uvode unapređenja u svoje procese rada, kako bi se postigle uštede u vremenu i novcu. Ono što nedostaje je upravo veza između vremena i novca.

Predmet istraživanja ove disertacije jeste ispitivanje uticaja akumulacije troškova u vremenu na izbor odgovarajućih mera za unapređenje i povećanje efikasnosti proizvodnih procesa. U okviru ove doktorske disertacije je istražena mogućnost integracije troškovno-vremenskog profila (eng. *Cost-time profile*) u proces mapiranja toka vrednosti proizvodnog procesa (eng. *Value Stream Mapping*). Mapiranje toka vrednosti predstavlja veoma efikasan alat za vizualizaciju aktivnosti u okviru proizvodnih i uslužnih preduzeća sa akcentom na vreme trajanja aktivnosti i vremena čekanja, a sa ciljem skraćivanja vremena trajanja procesa i eliminacije onih aktivnosti koje ne dodaju vrednost proizvodu. S druge strane, standardni računovodstveni sistemi posmatraju samo troškove i njihovu akumulaciju, ali bez uključivanja vremenske dimenzije. Osnovni cilj istraživanja sprovedenog u okviru ove disertacije je bio da se definiše set preporuka koje će podržati proces donošenja odluka o potrebnim merama unapređenja u okviru proizvodnog procesa. Ove preporuke su razvijene na osnovu postojećih zakonitosti mapiranja toka vrednosti uz pridruživanje novog parametra, koji će pružiti informaciju o nivou akumuliranih troškova (direktnih i indirektnih) u svakom trenutku vremena. Takođe je i ispitano kako terminsko planiranje utiče na akumulaciju troškova, odnosno da li primena različitih pravila raspoređivanja radnih naloga utiču na promene vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja.

Rezultati istraživanja su pokazali da različita pravila raspoređivanja radnih naloga i primena različitih mera unapređenja imaju značajan uticaj na vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja. Rezultati istraživanja su omogućili da se definišu dva koeficijenta – koeficijent ulaganja i koeficijent efikasnosti koji se mogu koristiti u procesu odlučivanja o primeni mera unapređenja, pre svega u smislu izbora odgovarajućih mera, a zatim i utvrđivanje redosleda njihove implementacije. Prikazan je i dijagram toka procesa odlučivanja koji sadrži mere unapređenja koje su ispitane u okviru disertacije i uputstva za sprovođenje. Ono što je važno utvrditi pre procesa donošenja odluka o merama unapređenja, koji je odnos troškova radne snage, materijala i tehnologije, jer i to ima značajan uticaj na izbor odgovarajućeg seta mera.

## ABSTRACT

Modern business conditions mean that the companies constantly need to introduce changes in the way of doing business, in order to better satisfy customer requirements in the shortest possible time with the lowest cost, and all of these things have to be implemented in a way that is better than competition. Companies constantly need to introduce improvements in their work processes in order to achieve the savings in time and money. What is missing is the link between time and money.

The subject of this dissertation is to examine the effect of the cost accumulation over the time on the selection of appropriate measures to increase the efficiency of production processes. Also, this dissertation explores the possibility of integrating cost-time profile in the process of value stream mapping. Value stream mapping is a very valuable tool for visualizing activity within the manufacturing and service companies by emphasizing on the activity duration and waiting times, with the aim of shortening duration of the complete process and eliminate those activities that do not add value to the product. On the other hand, the standard accounting systems observe only costs and their accumulation, without the inclusion of the time dimension. The main objective of the research conducted within this thesis was to define a set of recommendations that will support decision-making process which improvement measures are the most suitable for increasing of production processes efficiency. These recommendations are based on the existing rules of value stream mapping with introducing of the new parameter, which will provide information about the level of accumulated costs (direct and indirect) in every moment. Here is also examined what kind of influence has job-shop scheduling on the cost accumulation, or whether the application of different job-shop scheduling rules affecting the change in the value of cost-time investment.

The results showed that different job-shop scheduling rules and the implementation of various improvement measures have a significant impact on the value of the cost-time investment. As a result of research and original scientific contribution of this thesis two coefficients are proposed: coefficient of investment and coefficient of measure efficiency that can be used in the first place for the selection of appropriate measure for the improvement, and then to define the priorities for implementing the improvement measures. Based on the results of the research, here has been made the flowchart that includes improvement measures which has been tested in the framework of the dissertation and guidelines for defining the sequence of their implementation. It is also important to note that companies should firstly analyse structure of the costs in the sense of relationships among material, labour and machines cost.

# SADRŽAJ

---

1. UVOD .....	1
1.1 PREDMET ISTRAŽIVANJA .....	4
1.2 CILJ ISTRAŽIVANJA I ISTRAŽIVAČKA PITANJA.....	5
1.3 STRUKTURA DISERTACIJE .....	6
2. PREGLED LITERATURE .....	7
2.1 LEAN PROIZVODNJA .....	7
2.1.1 Osnove <i>lean</i> proizvodnje .....	7
2.1.2 Principi <i>lean</i> proizvodnje i menadžmenta .....	11
2.1.3 <i>Lean</i> gubici .....	14
2.1.4 <i>Lean</i> implementacija.....	16
2.2 MAPIRANJE TOKA VREDNOSTI.....	23
2.3 RAČUNOVODSTVO TROŠKOVA I SISTEMI UPRAVLJAČKOG RAČUNOVODSTVA .....	34
2.3.1 Tradicionalni sistem obračuna troškova.....	37
2.3.2 Obračun troškova na osnovu aktivnosti .....	41
2.3.3 <i>Lean</i> računovodstvo - obračun troškova na osnovu toka vrednosti .....	45
2.4 VREMENSKO – TROŠKOVNI PROFIL .....	50
2.5 TERMINSKO PLANIRANJE I RASPOREĐIVANJE RADNIH NALOGA.....	55
2.6 MODELOVANJE I SIMULACIJE POSLOVNIH PROCESA.....	64
2.7 SOFTVERI.....	69
2.7.1 Softver LEKIN.....	69
2.7.2 Softver Cost-Time Profiler .....	73
2.7.3 Softver Arena.....	77
3. OPIS MODELA I TOKA ISTRAŽIVANJA.....	80
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	83
5. DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA .....	129
5.1 KOEFICIJENT ULAGANJA.....	135
5.2 KOEFICIJENT EFIKASNOSTI MERA UNAPREĐENJA .....	138
6. ZAKLJUČCI I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA .....	145
LITERATURA .....	150

## 1. UVOD

---

Savremeni uslovi poslovanja, globalizacija, konkurencija, intenzitet promena, fleksibilnost, agilnost, produktivnost, efikasnost, povećanje profita, povećanje tržišnog učešća, smanjenje troškova su pojmovi koji se svakodnevno mogu čuti kako akademske krugovima iz različitih oblasti (menadžment, inženjerstvo, ekonomije) tako i privrednim krugovima iz različitih sektora. U osnovi svih ovih pojmova koji se mogu pronaći u naučnim radovima, čuti na diskusijama na naučnim i stručnim skupovima, pronaći u politikama i misijama, planovima i strategijama preduzeća prožima se jedna veoma važna rečenica, koja više zvuči kao zapovest, a glasi: *kupac je kralj*. Ovo ukazuje na činjenicu da je vreme kada su privredni subjekti koji posluju na tržištu kreirali uslove poslovanja prošlo i da je sada kupac taj koji postavlja svoje uslove, nameće pravila i da je samo zadovoljenje njegovog zahteva ono što je relevantno i ključno za sva preduzeća. Ali ono što se očekuje od preduzeća je da ti zahtevi budu ispunjeni u što kraćem roku i sa visokim stepenom kvaliteta kako proizvoda tako i prateće usluge i da se postigne cena koju je kupac spreman da plati. S druge strane, na tržištu vlada ogromna konkurencije, tako da osim ispunjenja navedenih uslova, preduzeća imaju pritisak da zadovolje zahteve kupca na veoma visokom nivou i što je važnije, bolje od konkurencije. Ali nisu ovo jedini izazovi sa kojima se preduzeća susreću. Da bi sve ovo moglo da se postigne, mora da postoji izuzetno dobro uređen sistem koji besprekorno funkcioniše i odoleva, odnosno prilagođava se svim promenama koje se u okruženju dešavaju izuzetnom brzinom i da konstantno radi na unapređenju svog poslovanja uz smanjenje troškova. Ovo podrazumeva da preduzeća moraju konstantno da unapređuju svoje proizvodne, organizacione i upravljačke strukture, uvode inovacije, unapređuju tehnologiju, ali i ulažu u usavršavanje svojih zaposlenih kako bi mogli da isprate ove promene i adekvatno odgovore na nove zadatke i izazove.

Iako sada sve statistike idu u korist porasta mogućnosti zapošljavanja u sektoru usluga, posebno u oblasti informaciono-komunikacionih tehnologija, ipak je proizvodnja najvažnija karika za blagostanje i razvoj jednog društva i u poređenju sa drugim delatnostima, proizvodnja ipak nudi najveće mogućnosti zapošljavanja i stvaranja dodate vrednosti, mnogo više nego bilo koja druga oblast. A šta je to proizvodnja, njen zadatak i uloga u društvu uopšte, možda najbolje govore definicija i objašnjenje koje je dao Zelenović – “*Proizvodnja predstavlja osnovno područje ljudske delatnosti neophodno za zadovoljenje potreba učesnika u procesima rada, radnih sistema i stabilnog razvoja društva u skladu sa utvrđenim ciljevima. Proizvodnja je uslovljena postojanjem skupa elemenata (predmeta rada, sredstava rada i učesnika u procesima rada) međusobno vezanih u skladu sa projektovanim*

postupcima promene stanja sa jedne i ulaganjem ljudskog rada sa druge strane, odnosno uslovljena postojanjem sistema za proizvodnju oblikovanu tako da obezbedi transformaciju raspoloživih resursa u proizvode u skladu sa datim potrebama” (Zelenović, 2012). A ono što omogućava ostvarenje ciljeva proizvodnje je proizvodni sistem. On takođe ističe da bez obzira na sva prirodna bogatstva zemlje, proizvodnja je upravo ta koja omogućava njihovu transformaciju i daje im upotrebnu vrednost. Sama definicija zvuči dosta kompleksno jer sadrži puno elemenata koji moraju biti savršeno organizovani, da bi se zaista na adekvatan način realizovao cilj proizvodnje. Ovaj cilj proizvodnje je usmeren pre svega ka kupcu i da se zadovolje njegovi zahtevi. Ostaje i onaj ekonomski cilj proizvodnje, koji je važan sa aspekta preduzeća, a to je da se ostvari profit. Ono što takođe privlači dosta pažnje, jeste da se ovi ciljevi postižu sa raspoloživim resursima, što je takođe važno pitanje jer se preduzeća u današnjim uslovima poslovanja susreću sa problemom ograničenosti novčanih sredstava za ulaganje u resurse za proizvodnju i planiranje vremenskog trenutka ulaganja u resurse i određivanje optimalnih količina predstavlja takođe veliki izazov za preduzeća. Stoga, proizvođači konstantno moraju da smišljaju nove strategije i pronalaze alate koji će unaprediti procese, sniziti troškove i povećati produktivnost i efikasnost. Istovremeno, proizvođači moraju da obrate više pažnje na raznovrsnost proizvoda koje nude na tržištu, vrednost koju kreiraju za kupca, kao i poštovanje rokova isporuke.

Treba biti svestan činjenice da je era masovne proizvodnje završena i da se sada teži ka tome da se proizvodi prave posebno za svakog kupca, što značajno povećava troškove i vreme potrebno za stvaranje proizvoda ili usluge. Masovna proizvodnja je bila prihvatljiva u vreme kada je potražnja za proizvodima na tržištu bila izuzetno visoka a proizvodnja prema pojedinačnim zahtevima kupca nije bila zastupljena. A sada je otpočela era veoma izražene personalizacije proizvoda i usluga, mnogo dinamičnijeg projektovanja i razvoja proizvoda, skupljih resursa i iznad svega kupci su često upravo ti koji i određuju cenu proizvoda (Chiarini, 2012). Kao jedan od dokaza je i pojava *lean* prilaza koji istovremeno predstavlja i revoluciju i evoluciju (Bicheno & Holweg, 2009). Naime, *Toyota* proizvodni sistem je predstavljao revoluciju jer odbija koncept masovne proizvodnje i ekonomiju obima, a evolucija podrazumeva razvoja alata i tehnika za postizanje novog oblika organizacije i upravljanja poslovanjem.

Efikasnim i uspešnim preduzećem se smatra ono preduzeće koje uspeva da proizvede što veći izlaz uz što manja ulaganja. Svako preduzeće mora da ulaže u nove tehnologije i programe upravljanja proizvodnjom kako bi opstali na tržištu i bili konkurentni. Efikasan proizvođač je ono preduzeće koje završava poslove brzo i na vreme, drži zalihe na minimumu i održava visok kvalitet proizvoda što mu omogućava proširenje poslovnih margina, povećanje profitabilnost i veći i brži povrat investicije (Hart & Hurt, 2013).

Efikasnost ima dve komponente, tehničku i alokativnu, i obe komponente su pod potpunom kontrolom preduzeća (Anandalingam & Kulatilaka, 1987). Tehnička efikasnost podrazumeva dobar izbor tehnoloških sistema i tehnologija koji obezbeđuju proizvodnju visoke pouzdanosti i minimalnih troškova, dok alokativna efikasnost podrazumeva da su svi ulazni parametri, kao što su radna snaga, material, novčani resursi, adekvatno isplanirani i u skladu sa tržišnim cenama. Pored ovoga, u savremenim uslovima poslovanja se mora voditi računa i o kvalitetu i vrednosti koje proizvod ili usluga obezbeđuju kupcu. Najvažnije je razumeti šta za kupca predstavlja vrednost koju dobija od proizvoda ili usluge. U cilju povećanja produktivnosti i efikasnosti preduzeća mogu da izaberu strategiju kontinuiranog unapređenja kroz eliminaciju gubitaka. Efikasan proizvodni proces zajedno sa dobrim sistemom kontrole kvaliteta poprilično garantuje isporuku proizvoda na vreme i zadovoljenje kupčevih zahteva (Pan et al., 2010). Ako se poveća vrednost za kupca, preduzeće bi trebalo da raste i prosperira. Preduzeća trebaju neke dokazane alate, tehnike i metode koje će ih sa jedne strane dovesti do smanjenja vremena realizacije kupčevog zahteva, a sa druge strane obezbediti smanjenja troškova poslovanja.

Vreme i troškovi su imperativ za svako preduzeće, tako da praćenje i kontrola troškova u vremenu može biti veoma dobra osnova za unapređenje. Pod ovim se podrazumeva, da preduzeća treba da dobro analiziraju koliko im se novac uložen u resurse dugo zadržava u preduzeću i da teže ka tome da se najveći deo vrednosti proizvodu pridružuje pre izlaska na tržište, kako bi se što pre vratio novac preduzeću kroz naplatu potraživanja. Svaki proizvod ili usluga, u toku svog nastajanja, koristi aktivnosti koje generišu troškove. Vreme je novac i korišćenje manje resursa u proizvodnji može biti dobra strategija stvaranje profita i uštede mogu biti postignute prevencijom gubitaka (Deif, 2011). U savremenoj privredi, kreiranje vrednosti za kupca/potrošača je prioritet.

S druge strane, terminsko planiranje, odnosno raspoređivanje radnih naloga u okviru proizvodnog sistema, igra veoma važnu ulogu u današnjim, izrazito dinamičnim uslovima poslovanja, kada se odluke donose u trenutku, iz razloga što je akcenat stavljen na kupca i poštovanje rokova isporuke. Raspoređivanje radnih naloga odgovara na pitanje kako rasporediti ograničene resurse tokom određenog perioda vremena na najefikasniji način, poštujući pre svega rokove isporuke, a sa druge strane vodeći računa o optimizaciji tehnoloških sistema, radne snage, materijala i drugih resursa. S obzirom da treba da zadovolji jednu ili više unapred postavljenih funkcija cilja i optimizovati upotrebu nekoliko različitih resursa, raspoređivanje radnih naloga nije jednostavan posao. Stoga je u okviru preduzeća potrebno naglasiti značaj terminskog planiranja, a u okviru ove disertacije će biti kvantifikovan uticaj terminskog planiranja u smislu u kontekstu troškova.

## 1.1 PREDMET ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja ove disertacije jeste ispitivanje uticaja akumulacije troškova u vremenu na izbor odgovarajućih mera za unapređenje i povećanje efikasnosti proizvodnih procesa. U okviru ove doktorske disertacije je istražena mogućnost integracije troškovno-vremenskog profila (eng. *Cost-time profile*) u proces mapiranja toka vrednosti proizvodnog procesa (eng. *Value Stream Mapping*). Mapiranje toka vrednosti predstavlja veoma efikasan alat za vizualizaciju aktivnosti u okviru proizvodnih i uslužnih preduzeća sa akcentom na vreme trajanja aktivnosti i vremena čekanja, a sa ciljem skraćivanja vremena trajanja procesa i eliminacije onih aktivnosti koje ne dodaju vrednost proizvodu. S druge strane, standardni računovodstveni sistemi posmatraju samo troškove i njihovu akumulaciju, ali bez uključivanja vremenske dimenzije.

Međutim, za unapređenje procesa, pored saznanja o uštedama koje se mogu postići u pogledu vremena, poželjno bi bilo da se prate i stvarni troškovi koji nastaju u toku procesa, posebno njihova akumulacija kroz vreme i da se na taj način kreira nova dimenzija za unapređenje. Vremensko-troškovni profil uključuje troškove materijala, troškove aktivnosti koje stvaraju i dodaju vrednost proizvodu ili usluzi, ali i onih koje ne stvaraju vrednost, a to je čekanje. Površina koja se obrazuje ispod krive u dijagramu troškovi – vreme predstavlja vremensko - troškovno ulaganje (eng. *Cost-Time Investment*) i zadatak ove disertacije je bio da se pronađu adekvatna rešenja za smanjenje te površine. Vremensko-troškovni profil sadrži podatke samo o kretanju i akumulaciji troškova u vremenu, a mapa toka vrednosti sadrži podatke o celom procesu sa akcentom na vremena, tako da kombinacija ova dva alata može značajno da olakša proces donošenja odluka koje mere unapređenja preduzeti. Troškovi i investicije unutar proizvodnih procesa treba posmatrati kao dinamičku kategoriju koja prati tok novca kroz životni ciklus poslovnog procesa, te je stoga kvantifikacija rezultata i ušteta nakon implementacije nekog unapređenja veoma otežana.

Merenje angažovanja resursa je predmet istraživanja već dugi niz godina, a s druge strane unapređenje efikasnosti proizvodnih procesa je uvek aktuelna tema u oblasti inženjerskog menadžmenta, posebno ako se ima na umu da se poslovno okruženje konstantno menja i zahtevi kupaca postaju sve složeniji. Naučna i stručna literatura, kao i istraživanja u praksi pokazuju da se implementacijom *lean* proizvodnje, principa i alata u preduzeću značajno povećava efikasnost procesa i unapređuje poslovanje. Mapiranje toka vrednosti, kao jedan od *lean* alata, omogućava na visokom nivou vizualizaciju procesa i identifikaciju problema, ali ono što nedostaje su preporuke koje pružaju podršku u odlučivanju industrijskim inženjerima i menadžerima da izabru najpogodnije mere unapređenja i kreiraju novi - unapređeni tok vrednosti u skladu sa izabranim merama. Unapređenje efikasnosti

proizvodnih, a i poslovnih procesa uopšte, dovode do povećanja konkurentnosti, što je svakako jedan od važnih ciljeva svakog preduzeća, posebno u savremenim uslovima poslovanja.

Veća produktivnost i bolji rezultati na izlazu iz procesa duž celog toka stvaranja vrednosti se postižu skraćanjem vremena trajanja od momenta prijema porudžbine od kupca do momenta isporuke, tako da preduzeća moraju razvijati sisteme koji će stvoriti vrednost u što kraćem mogućem roku (Edtmayr et al., 2011). Istovremeno sa implementacijom modernih prilaza u proizvodnji, preduzeća moraju da menjaju i poslovne procedure i način rada uopšte kako bi bili kompatibilni sa novom proizvodnom filozofijom koja je primenjena. Informacije iz preduzeća i iz njegovog okruženja su najvažniji resurs u savremenim uslovima poslovanja, te je stoga prikupljanje informacija na pravi način i u realnom vremenu veliki izazov za preduzeća. U većini preduzeća, proces prikupljanja informacija je prilagođen uslovima masovne proizvodnje i mnogi od njih nisu u stanju da uopšte prepoznaju kompletan lanac stvaranja vrednosti. Istovremeno, računovodstveni sistemi nisu u mogućnosti da na adekvatan način filtriraju precizne podatke o troškovima, a važnost tih informacija izuzetna, posebno za menadžment preduzeća.

## **1.2 CILJ ISTRAŽIVANJA I ISTRAŽIVAČKA PITANJA**

Osnovni cilj istraživanja sprovedenog u okviru ove disertacije je bio da se definiše set preporuka koje će podržati proces donošenja odluka o potrebnim merama unapređenja u okviru proizvodnog procesa. Ove preporuke su razvijene na osnovu postojećih zakonitosti mapiranja toka vrednosti uz pridruživanje novog parametra, koji će pružiti informaciju o nivou akumuliranih troškova (direktnih i indirektnih) u svakom trenutku vremena. Tradicionalna mapa toka vrednosti proizvodnog procesa ima ograničenje samo na vremensku dimenziju, bez saznanja kakav će uticaj preduzete mere unapređenja imati na smanjenje troškova u okviru procesa, ali pruža informacije o aktivnostima koje dodaju novu vrednost proizvodu i o onim koje ne dodaju novu vrednost. S obzirom da će proces donošenja odluka biti podržana simulacijom diskretnih događaja, obezbediće donosiocima odluka da pre usvajanja i implementacije nekog unapređenja, simuliraju različite scenarije i na osnovu dobijenih vrednosti parametara i postavljenog cilja unapređenja izaberu optimalnu meru.

U toku oblikovanja podloga za izradu ove disertacije, formulisana su 3 istraživačka pitanja koja su bila od posebnog značaja za ostvarenje namene i ciljeva doktorske disertacije:



1. Na koji način je moguće integrisati troškovno-vremenski profil u mapu toka vrednosti proizvodnog procesa i na taj način identifikovati realne mogućnosti za poboljšanje efikasnosti procesa (optimizacija procesa na osnovu akumulirane vrednosti troškova u vremenu)?
2. Koje raspoložive mere (skraćenje vremena faze procesa koja ne dodaje novu vrednost proizvodu, skraćenje vremena trajanja proizvodnih operacija ili sniženje njihovih troškova, sniženje troškova ulaznih materijala) najviše doprinose povećanju efikasnosti proizvodnog procesa?
3. Na koji način je moguće podržati proces donošenja odluka o potrebnim merama unapređenja, uz korišćenje simulacije diskretnih događaja?

### 1.3 STRUKTURA DISERTACIJE

Disertacija je organizovana u 6 poglavlja. U okviru uvodnog poglavlja, dat je kratak pogled na savremene uslove poslovanja sa akcentom na to šta se od preduzeća očekuje kako bi se smatralo uspešnim i predstavljeni su predmet i cilj istraživanja, uključujući i istraživačka pitanja. Drugo poglavlje koje se odnosi na pregled literature se sastoji od nekoliko odvojenih potpoglavlja u okviru kojih su prikazane teorijske osnove i trenutno stanje u oblastima *lean* proizvodnje, sistema računovodstva i obračuna troškova, vremensko-troškovnog profila, terminskog planiranja i simulacija diskretnih događaja. U okviru ovog poglavlja predstavljene su i osnovne funkcionalnosti i karakteristike 3 softvera koji su korišćeni u okviru disertacije. Pregled literature zauzima poprilično dosta mesta u okviru ove disertacije, ali to je iz razloga što je u okviru disertacije napravljena svojevrsna kombinacija različitih metoda, alata i tehnika optimizacije i unapređenja proizvodnih procesa. Sama tema i predmet istraživanja povezuju mnogo različitih istraživačkih oblasti koje su u okviru ove disertacije objedinjene sa ciljem da se dobije nova naučna informacija. Treće poglavlje je posvećeno opisu modela istraživanja, uključujući i pretpostavke, odnosno ograničenja u istraživanju. U četvrtom poglavlju su prikazani dobijeni rezultati istraživanja uz nekoliko komentara i napomena, bez detaljne analize samih rezultata. Nakon prikaza rezultata, peto poglavlje obuhvata diskusiju rezultata istraživanja prateći postavljena istraživačka pitanja. Šesto poglavlje je posvećeno zaključcima do kojih se došlo radom i istraživanjem u okviru ove disertacije i prikazani su pravci daljeg istraživanja. Na kraju ovog dokumenta se nalazi i spisak korišćene literature.

## 2. PREGLED LITERATURE

---

Pregled literature je bio usmeren na četiri različite istraživačke oblasti. Prva oblast pregleda literature obuhvata *lean* proizvodnju sa naglaskom na područja koja su od interesa za predmet istraživanja ove disertacije (osnove *lean* proizvodnje i mapiranje toka vrednosti). Posebna pažnja je posvećena načinima eliminacije gubitaka, sa posebnim osvrtom na skraćenje vremena čekanja, smanjenje troškova radne snage i materijala i njihovog uticaja na troškove. Druga oblast su računovodstvo troškova i sistemi upravljačkog računovodstva sa aspekta različitih prilaza obračuna troškova. Dalji pregled je obuhvatio literaturu u oblasti vremensko-troškovnog profila kao alata za vizualizaciju i proračun ukupnih troškova procesa u vremenu i četvrta oblast je obuhvatila temu terminskog planiranja sa naglaskom na pravila raspoređivanja radnih naloga. Na ovom mestu je važno napomenuti da u središtu istraživanja ove disertacije nije implementacija *lean* proizvodnje i merenje njenog direktnog uticaja na unapređenje efikasnosti preduzeća, ali je *lean* u ovom slučaju okosnica za sve druge teme koje su obrađene. Takođe, ova disertacija se ne bavi istraživanjem ekonomskog modela za računanje troškova i teži ka pronalaženju najadekvatnijeg modela za obračun troškova u *lean* okruženju. U središtu istraživanja jeste upravo proširenje postupka mapiranja toka vrednosti sa vremensko-troškovnim profilom kako bi se osnažio i unapredio proces donošenja odluka. A mere unapređenja koje su ispitivane u ovom proširenom modelu i čiji je uticaj meren su izvedene iz *lean* proizvodnje i terminskog planiranja.

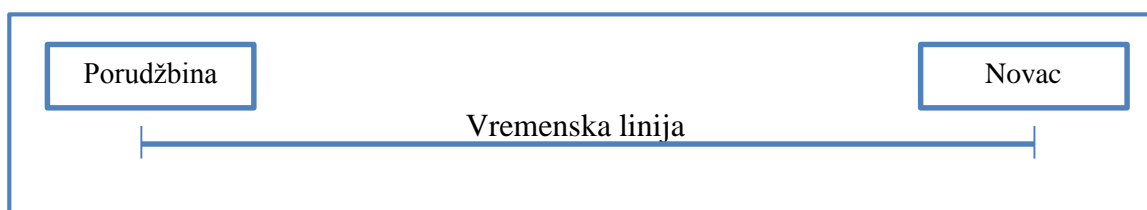
### 2.1 LEAN PROIZVODNJA

#### 2.1.1 Osnove *lean* proizvodnje

*Toyota* proizvodni sistem (TPS) ili *lean* proizvodnja (eng. *lean manufacturing*) je čini se prvo pitanje koje se nameće kada se govori o ovoj oblasti. A razlika je samo terminološka – *Toyota* proizvodni sistem je izvorni naziv koji je prihvaćen i koristi se u Japanu, dok je *lean* proizvodnja zapadnjačka adaptacija ovog termina. *Lean* proizvodnja svoje korene ima u automobilskoj industriji (Womack et al., 2007), tačnije u Toyoti, a počela da se intenzivno širi i primenjuje u mnogim industrijama poslednjih tridesetak godina (Womack & Jones, 2010; Ward & Graves, 2004; Lanza et al., 2011; Lanza et al., 2012). Naime, *Toyota* proizvodni sistem se pojavio 50-ih godina prošlog veka kao odgovor na krizu koja je nastala nakon Drugog svetskog rata, kada su materijalni, ljudski i finansijski resursi bili izuzetno

ograničeni. Međutim, ovaj sistem nije privlačio dovoljno pažnje sve do zvanične krize koja je nastupila 1973. godine, kada su se preduzeća suočila sa činjenicom da im je rast nula i morali su da se bore sa ogromnim gubicima u proizvodnji (Ohno, 1988). I tada su upravo i primećeni uspesi koje je *Toyota* napravila eliminacijom gubitaka.

*Toyota* proizvodni sistem predstavlja obiman skup tehnika čijom kombinacijom se postiže eliminacija gubitaka u preduzeću sa ciljem povećanja fleksibilnosti i efektivnosti sistema (Wilson, 2010). Taiichi Ohno, u svojoj knjizi „*Toyota* proizvodni sistem – Iza proizvodnje velikih razmera“ navodi da je u osnovi ovog sistema apsolutna eliminacija gubitaka i da je osnovni cilj smanjenje troškova, odnosno povećanje efikasnosti proizvodnog sistema (Ohno, 1988).



Slika 1. Vremenska linija – osnov za povećanje efikasnosti

On ističe da sve što su oni radili u svom sistemu je prosto posmatranje vremenske linije (slika 1), od momenta kada prime zahtev od kupca do momenta kada isporuče i naplate robu i na osnovu tog posmatranja i analize, radili su na skraćanju vremena kroz eliminaciju gubitaka. A gubitak je resurs ili aktivnost koja ne dodaje vrednost proizvodu, a *lean* proizvodnja predstavlja upravo taj kontinuirani proces eliminacije gubitaka, fleksibilno obezbeđujući vrednost za koju je kupac spreman da plati (Grasso, 2005). Različiti autori različito gledaju na to šta je stvarna tajna uspeha *lean* proizvodnje. Jedni navode da je to implementacija *pull* sistema koji obezbeđuje unapređenje performansi proizvodnog sistema, povezujući sistem planiranja i upravljanja proizvodnjom sa potražnjom kupca (Gahangam, 2008), dok Rao i Bargerstock vide da uspeh leži u prevenciji odstupanja u svim segmentima poslovanja, a ne korekciji (Rao & Bargerstock, 2011). Proizvođači su efikasni ukoliko proizvode što je moguće više proizvoda sa resursima koje su angažovali u proizvodnji i da se to realizuje sa minimalnim troškovima (Greene, 1999). Iako je smanjenje troškova najvažniji cilj, Monden ističe da je neophodno zadovoljiti 3 važna specifična cilja (koji su međusobno zavisni) kako bi se zadovoljio ovaj opšti cilj, a to su (Monden, 1983):

1. Dobro upravljanje količinama u proizvodnji, što obezbeđuje fleksibilnije prilagođavanje promenama u potražnji,

2. Dobro upravljanje kvalitetom, kako bi se obezbedilo da se svaki proces a i krajnji kupac snabdeva samo ispravnim proizvodnima (sa jedne strane sprečavaju se zastoji, sa druge strane obezbeđuje se zadovoljstvo kupca) i
3. Razvoj poštovanja i negovanje dobrog odnosa prema zaposlenim, koji su najvažnija karika u lancu i najviše doprinose ostvarenju primarnog cilja.

Kada se govori o proizvodnji, menadžmentu i savremenom poslovanju jako često se koristi reč efikasnost koja u modernoj industriji i poslovanju uopšte znači smanjenje troškova. *Lean* preduzeća su prvenstveno fokusirana na rast, povećanje profitabilnosti i vrednosti za kupca, ali su i povećanje produktivnosti, unapređenje kvaliteta proizvoda i procesa, kao i sistema isporuke takođe važni elementi za unapređenje efikasnosti poslovanja.

Optimizacija proizvodnih i poslovnih procesa je postala ciljna tačka kojoj sva preduzeća teže. Tradicionalni analitički alati korišćeni da povećaju efikasnost procesa i smanje troškove su se uglavnom fokusirali na fizičke procese koje učestvuju u svakoj fazi proizvodnje, dok alternativne metode povećanja efikasnosti posmatraju proces kao celinu i optimizuju integraciju svake faze proizvodnje (Kendall et al., 1998). A integracija svih procesa u preduzeću, sama po sebi, ima primarni cilj da obezbedi takav system koji će obezbediti prave informacije, u pravo vreme i na pravom mestu (Tešić et al., 2010). I mnoga preduzeća u Americi su počela da primenjuju *lean* filozofiju kako bi povećali efikasnosti, smanjili vreme trajanja ciklusa proizvodnje, povećali zadovoljstvo kupaca i uredili tokove u sistemu, što je istovremeno stavilo veliki pritisak na promene menadžment sistema koji je do tada bio usmeren da podrži tradicionalne metode proizvodnje (proizvodnja u velikim serijama i postizanje ekonomije obima) (Baggaley & Maskel, 2003a). Profit se može ostvariti samo smanjenjem troškova jer je prodajna cena jednaka zbiru profita i troškova što dovodi do zaključka da je kupac odgovoran za svaki trošak. Međutim, najvažnije pitanje je da li je proizvod od vrednosti za kupca?

Knjiga „*Mašina koja je promenila svet*“ je prva ozbiljna literatura u oblasti *lean*-a i u njoj su prikazani rezultati petogodišnjeg projekta koji je vodio Tehnološki institut Masačusets, u okviru kojeg su detaljno analizirani zapadni način (masovna proizvodnja) i japanski način (*lean* proizvodnja) proizvodnje (Womack et al., 2007). Upoređujući ova dva sistema proizvodnje, autori ukazuju na elemente koji čine *Toyota* proizvodni sistem superiornijim sistemom od sistema masovne proizvodnje. *Lean* proizvodnja nudi mogućnost brzog razvoja proizvodnog sistema svetske klase, bez velikih finansijskih ulaganja. Oni veruju da će *lean* proizvodnja u potpunosti zameniti, ne samo masovnu proizvodnju nego i druge prilaze proizvodnji u svim područjima industrije i privrede i postati globalni oblik proizvodnog sistema 21. veka.

Pettersen je analizirao definicije *lean* proizvodnje navedene u različitim knjigama i naučnim radovima i kao rezultat je dao listu ciljeva *lean* proizvodnje koji se najčešće spominju, a kao najvažnije su se istakle proizvodnja proizvoda sa što manje nedostataka i grešaka a u skladu sa željama kupca, unapređenje vrednosti za kupca, eliminacija gubitaka, fokus na kupca, jednopredmetni tok i kontinuirano unapređenje (Pettersen, 2009).

Stone je 2012. godine napravio pregledni rad pod naslovom “Četiri decenije *lean-a*” i identifikovao je nekoliko faza u nastanku i razvoju *lean* proizvodnje (Stone, 2012):

- 1970-1990 – faza otkrivanja *lean* koncepta,
- 1991-1996 – faza diseminacije koja je započela pojavom najznačajnijih knjiga u ovoj oblasti od autora kao što su Womack, Ohno i drugi,
- 1997-2000 – faza implementacije i pojava empirijskih studija iz ove oblasti,
- 2001-2005 – faza preduzeća što podrazumeva širenje *lean* filozofije na celo preduzeće, a ne samo u proizvodnom procesu i
- 2006-2009 – faza performansi u smislu uvođenja sistema merenja performansi, odnosno postignutih rezultata *lean* transformacijom.

Iz ove četiri decenije postojanja *lean-a* kao filozofije poslovanja, autor je ukazao na neka važnija obeležja tog perioda i kakve uticaje ova pojava ostvaruje. Pre svega, važno je znati da se *lean* razvijao u proizvodnom okruženju, ali na takav način da može biti primenjen i u drugim delovima preduzeća, a i u drugim granama privrede, pre svega u uslugama. Interesovanje za istraživanjima u ovoj oblasti konstantno raste i dalje je pod velikim uticajem *Toyota* poslovnog koncepta. To za posledicu često ima teškoće za pronalaženje ove teme izvan okvira tehnika japanskog menadžmenta i proizvodnog konteksta. Mada, sve više se može primetiti porast interesovanja za ovu temu izvan okvira inženjerskih disciplina i njeno prisutvo u oblasti ljudskih resursa, finansija i slično. S obzirom da se tokom vremena uočilo da postoje problemi prilikom same implementacije, može se primetiti da se sve više pojavljuju naslovi koji su rezultat praktičnih istraživanja i ukazuju na to “*kako uraditi*”. I kao najvažnije, *lean* implementacija je mnogo uspešnija ukoliko je prihvaćena sa strateškog aspekta i usaglašena na nivou celog preduzeća,

Danas *lean* zapravo predstavlja svaki napor da se ostvare veći efekti sa manje ulaganja i istražuje se vrednost iz perspektive kupca, a na osnovu dobijenih saznanja se redizajniraju procesi kako bi se povećala vrednost. Socio-tehnički efekti globalne konkurencije primoravaju preduzeća da razvijaju i primenjuju nove strategije razvoja proizvoda kako bi se za kupca obezbedio što kvalitetniji proizvod u kratkom roku, sa manje troškova i bržim odzivom na zahtev kupca (Wasim et al., 2013).

Konkurentnost preduzeća predstavlja merilo njegove vrednosti na tržištu u odnosu na druga konkurentna preduzeća a da bi preduzeće ojačalo svoju poziciju mora da ima precizno definisanu misiju i jasno određene ciljeve, da održava visok nivo kvaliteta proizvodnog programa, ima visok stepen uređenosti osnovnih elemenata strukture i unapređuje efektivnost procesa rada svih funkcija u preduzeću, kao i njihovu integraciju (Maksimović, 2003). Takođe, u današnjem poslovnom okruženju, koje karakteriše visok stepen promena i kada su samo promene nešto što je izvesno da će se desiti, od preduzeća se očekuje da ima i visok stepen fleksibilnosti koja se postiže obezbeđivanjem tehnološke fleksibilnosti, kao i fleksibilnosti elemenata strukture sistema (kapaciteta) i tokova (Maksimović & Lalić, 2008). Oni navode da je optimalan broj proizvoda veoma važan parameter u analizi veze između troškova i kapaciteta proizvodne strukture, kao i to da fleksibilnost povećava kompleksnost sistema i upravljanja.

### 2.1.2 Principi *lean* proizvodnje i menadžmenta

Primena *lean* ideja u mnogim sektorima industrije je omogućila da autori Womack i Jones definišu 5 osnovnih *lean* principa (Womack & Jones, 2007):

1. Vrednost (eng. *Value*) – Ključni princip *lean* proizvodnje i smatra se da je vrednost definisana isključivo od strane krajnjeg kupca. Vrednost se posmatra kao specifičan proizvod sa specifičnim karakteristikama i performansama ponuđen po specifičnoj ceni i napravljen kroz konstantni dijalog sa specifičnim kupcem. Ova specifičnost ukazuje da mora postojati visok stepen personalizacije i da se svaki kupac mora posmatrati pojedinačno. Svako preduzeće mora da razume šta kupac ceni na njihovim proizvodima i pruženim uslugama i ta vrednost upravo određuje koliko je kupac spreman da plati. Stoga je posao preduzeća da eliminiše gubitke i nepotrebne troškove iz procesa kako bi se usmerili na kreiranje što veće vrednosti i postizanje odgovarajuće cene, uz ostvarivanje određenog profita,
2. Tok vrednosti (eng. *Value stream*) – Tok vrednosti je skup svih specifičnih aktivnosti potrebnih da specifičan proizvod prođe kroz tri kritična zadatka upravljanja: (1) zadatak rešavanja problema počevši od koncepta preko dizajna i projektovanja proizvoda do pokretanja proizvodnje, (2) zadatak upravljanja informacijama od preuzimanja porudžbine od kupca preko detaljnog terminskog planiranja do isporuke proizvoda i (3) zadatak fizičke transformacije proizvoda od sirovog materijala do gotovog proizvoda u rukama kupca. Opet je cilj otkriti aktivnosti u okviru ovih zadataka koje predstavljaju gubitke i preuzeti akcije eliminisanja ovih gubitaka. Ovo

- može biti postignuto samo detaljnim proučavanjem i jasnim razumevanjem samog toka vrednosti,
3. Tok (eng. *Flow*) – Jednom kada se eliminišu koraci i aktivnosti koje stvaraju gubitke i ne dodaju vrednost proizvodu, preostale aktivnosti trebaju biti organizovane na takav način da “teku”. To znači da se preduzeća moraju preorijentisati sa tradicionalne organizacije po funkcijama i departmanima na organizaciju fokusiranu na kupca, postavljenu duž linije toka vrednosti. Sa ciljem da se postigne da proizvodi nesmetano teku kroz preduzeće do kupca, proizvodnja u serijama je marginalizovana u odnosu na jednopredmetnu proizvodnju ili kontinuirani tok. Naglasak se pomera sa efikasnosti pojedinačne mašine ili radnika na efektivnost i efikasnost celog toka vrednosti,
  4. *Pull* sistem (eng. *Pull*) – *Pull* sistem podrazumeva da se u preduzeću ništa ne proizvodi dok kupac ne poruči, što zahteva visok stepen fleksibilnosti sistema i veoma kratka vremena trajanja celokupnog ciklusa pripreme, proizvodnje i isporuke. Kada su aktivnosti koje stvaraju vrednost organizovane kao tok, onda kupac može da “povuče” vrednost kroz sistem. Tradicionalni metodi proizvodnje su podrazumevali “guranje” (*push* sistem proizvodnje) proizvoda kroz sistem u nadi da će ih kupac kupiti kada se proizvedu i
  5. Savršenstvo (eng. *Perfection*) – Kada su preduzeća počela intenzivno da usvajaju *lean* praksu, postalo je jasno da je unapređenje neprekidan proces. Inicijative da se skрати vreme, smanji prostor, smanje troškovi su kontinualne. Ideja totalnog upravljanja kvalitetom (eng. *Total Quality Management*) je da se sistematično i kontinuirano uklone svi uzroci lošeg kvaliteta iz proizvodnih procesa, tako da se proizvodni sistem i proizvodi kreću ka savršenstvu.

Kako se može videti, na prvom mestu po važnosti principa se nalazi vrednost. Vrednost za kupca je skoro uvek navedena kao jedan od prioriteta *lean* proizvodnje, tako da bi preduzeća trebala to da stave kao najvažniji prioritet. Kupci stalno porede vrednost novca koji su spremni da plate za proizvod i vrednost koju će oni dobiti za taj novac. Stoga su kupci spremni da plate samo vrednost, ali nisu spremni da plate sve troškove i gubitke koje je proizvođač imao tokom kreiranja, odnosno stvaranja te vrednosti (Rivera, 2006). Vrednost za kupca može biti povećana upravo eliminacijom gubitaka, što je okosnica *lean* proizvodnje i *lean* principa, kroz projekte kontinuiranog unapređenja čijom implementacijom je zagarantovano značajno unapređenje produktivnosti, kvaliteta i isporuke, što sve zajedno dovodi do smanjenja troškova (Malta & Cunha, 2011). Takođe, preduzeća moraju dobro da znaju kako kupac uopšte definiše vrednost, a samo kreiranje veće vrednosti za kupca može biti efikasno postignuto kroz definisanje, razumevanje, praćenje i unapređenje toka vrednosti. Osim orijentacije na vrednost za kupca, *lean* proizvodnja stavlja naglasak na tok

materijala, od momenta kada material ulazi u process do momenta kada je proizvod spreman za tržište (Arbulo-Lopez & Fortuny-Santos, 2010). Jako je značajno za preduzeća da razumeju da *lean* proizvodnja počinje i završava se sa kupcem, tako da pre bilo koje promene, mora se dobro razumeti šta kupac želi da nabavi. Potrebno je prvo definisati tok vrednosti proizvoda kako bi se uočili izvori gubitaka ali i mesta koja kreiraju najveću vrednost (Luyster & Tapping, 2006).

Preduzeće *Toyota* kreira idealno okruženje za implementaciju *lean* tehnika i alata tako što neguje atmosferu kontinuiranog unapređenja i učenja, zadovoljava zahteve kupaca uz istovremenu eliminaciju gubitaka, postiže zadovoljavajući kvalitet iz prvog puta, stvara lidere unutar preduzeća i ne regrutuje ih iz spoljašnjeg okruženja, uči svoje zaposlene da rešavaju problem i unapređuje svoje poslovanje zajedno sa partnerima (Liker, 2004). Tako je i Liker, na osnovu dvadesetogodišnjeg istraživanja koje je sprovodio u Toyotinim preduzećima u Japanu i Americi identifikovao i definisao 14 menadžment principa na kojima se zasniva poslovanje i podelio ih je u 4 kategorije: (1) filozofija, (2) proces, (3) ljudi/partneri i (4) rešavanje problema i nazvao je to 4P modelom, a principi su:

1. Dugoročne odluke menadžmenta, čak i ako one narušavaju kratkoročne finansijske ciljeve. Najvažniji faktor uspeha je upravo strpljenje,
2. Kreiranje kontinuiranih procesa i tokova kako bi problem izašli na površinu. Jednopedmetni tokovi obezbeđuju kvalitet proizvoda, povećavaju fleksibilnost, povećavaju produktivnost, racionalizuju korišćenje prostora, smanjuju troškove zaliha i unapređuju sigurnost,
3. Korišćenje *pull* sistema kako bi se izbegla prekomerna proizvodnja. Mnoga preduzeća prave grešku jer proizvode količine u skladu sa svojim internim planovima i rasporedima, a onda gotove proizvode nude kupcima, što direktno dovodi do stvaranja zaliha ukoliko kupci ne trebaju taj proizvod u tom trenutku ili ga ne trebaju uopšte,
4. Uravnoteženje opterećenja, što je osnovni preduslov za uvođenje *pull* sistema,
5. Stvaranje kulture koja nalaže prekidanje procesa kako bi se rešio problem i kako bi se dobio zadovoljavajući kvalitet iz prvog puta,
6. Standardizacija procesa je osnova za kontinuirano unapređenje i osnaživanje radne snage,
7. Korišćenje vizuelne kontrole obezbeđuje otkrivanje svih problema u procesima,
8. Korišćenje pouzdanih i prethodno testiranih tehnologija. Pre uvođenje i usvajanja novih tehnologija, *Toyota* sprovodi veoma detaljnu analizu i ispituje sve potencijalne uticaje koje ta tehnologija može da ima na proces,
9. Razvoj lidera koji zaista znaju da rade svoj posao, razumeju i prihvataju *lean* filozofiju i znaju da uče druge,



10. Razvoj izuzetnih kadrova i timova koji slede usvojenu filozofiju preduzeća,
11. Širenje ove filozofije i među partnerima uključujući i snabdevače, podsticanje na primenu *lean* filozofije i pružanje podrške u njihovim projektima unapređenja,
12. Svi moraju za sebe da razumeju sistem, procese i realnu situaciju. Ako problem treba da se reši, pojedinac mora da ga identifikuje i razume,
13. Proces donošenja odluka mora biti spor uz uvažavanje svih mogućih opcija. A kada se odluka donese onda njena implementacija treba da bude brza i
14. Učeca organizacija – greške posmatrati kao šansu za učenje.

Jedna od najčešćih grešaka jeste da se *lean* sagledava kroz njegove alate i koncepte, jer su to jedini vidljivi elementi, ali pravi izvor snage *lean*-a leži u mogućnosti da se uči iz grešaka (Bicheno & Holweg, 2009). U *lean* organizaciji, greške se posmatraju kao šansa za unapređenje, a ne kao nešto što treba biti praćeno i zabranjeno. Nije cilj biti samo bolji od konkurencije, nego biti najbolji i biti perfektan u svom području poslovanja.

### 2.1.3 *Lean* gubici

*Lean* prilaz ne podrazumeva potragu za savršenim konačnim stanjem bez gubitaka. To je “putovanje” bez kraja ka savršenstvu kroz kontinuirano unapređenje konstantno tražeći i implementirajući bolje načine izvođenja procesa u odnosu na način koji je prethodno primenjivan (Ohno, 1988; Grasso, 2005). Ohno je identifikovao 7 tipova gubitaka:

1. Prekomerna proizvodnja - što podrazumeva proizvodnju mnogo većih količina od onih koje su potrebne sledećem procesu u nizu ili krajnjem kupcu. Ovo je najgori gubitak, zato što utiče na ostalih 6 oblika gubitaka,
2. Čekanje – Radnici ili tehnološki sistemi čekaju na završetak prethodnog procesa, na materijal na delove, na pripremu, informacije i slično,
3. Transport – što podrazumeva sva nepotrebna kretanja materijala, poluproizvoda i proizvoda kroz sistem,
4. Neodgovarajuća (suvišna) obrada, pod čim se podrazumeva sve ono što je izvan granica neophodnog da bi se obezbedila definisana i obećana vrednost za kupce,
5. Zalihe – predstavlja sve ono što je izvan predviđene količine potrebne za precizno definisan i uređen *pull* sistem proizvodnje,
6. Kretanje – nepotrebna kretanja radnika ili tehnoloških sistema i
7. Greške (defektni proizvodi) – što podrazumeva sve nedostatke na proizvodima ili uslugama.

Kasnije je Liker uveo i osmi gubitak koji se odnosi na radnu snagu, odnosno nedovoljno iskorišćenje kreativnosti radne snage, ne koriste se njihove maksimalne mogućnosti i daju

im se ograničene odgovornosti i uloge (Liker, 2004). Ljudi su najfleksibilniji resurs koji jedno preduzeće može da ima. Ako se kaže da je prekomerna proizvodnja najveći gubitak onda bi ovaj tip gubitka mogao da zauzme drugo mesto (Miller, 2013). Gubici koji su izazvani nedovoljnim iskorišćenjem ljudskog intelekta i kreativnosti, izazivaju sve ostale gubitke. *Lean* proizvodnja na ove gubitke odgovara na način da svaki korak u procesu povezuje sa narednim korakom ili sa kupcem gotovog proizvoda. Hines i Rich su istakli značaj alata i tehnika koje bi doprinele povećanju vidljivosti ovih identifikovanih gubitaka u okviru procesa i objedinili su 5 postojećih i predložili dva nova alata (Hines & Rich, 1997). U tabeli 1 su prikazani gubici i odgovarajući alati za njihovo mapiranje unutar procesa uz označavanje stepena primenljivosti određenih alata uz određene tipove gubitaka.

Tabela 1. Sedam alata za mapiranje toka i identifikaciju gubitaka

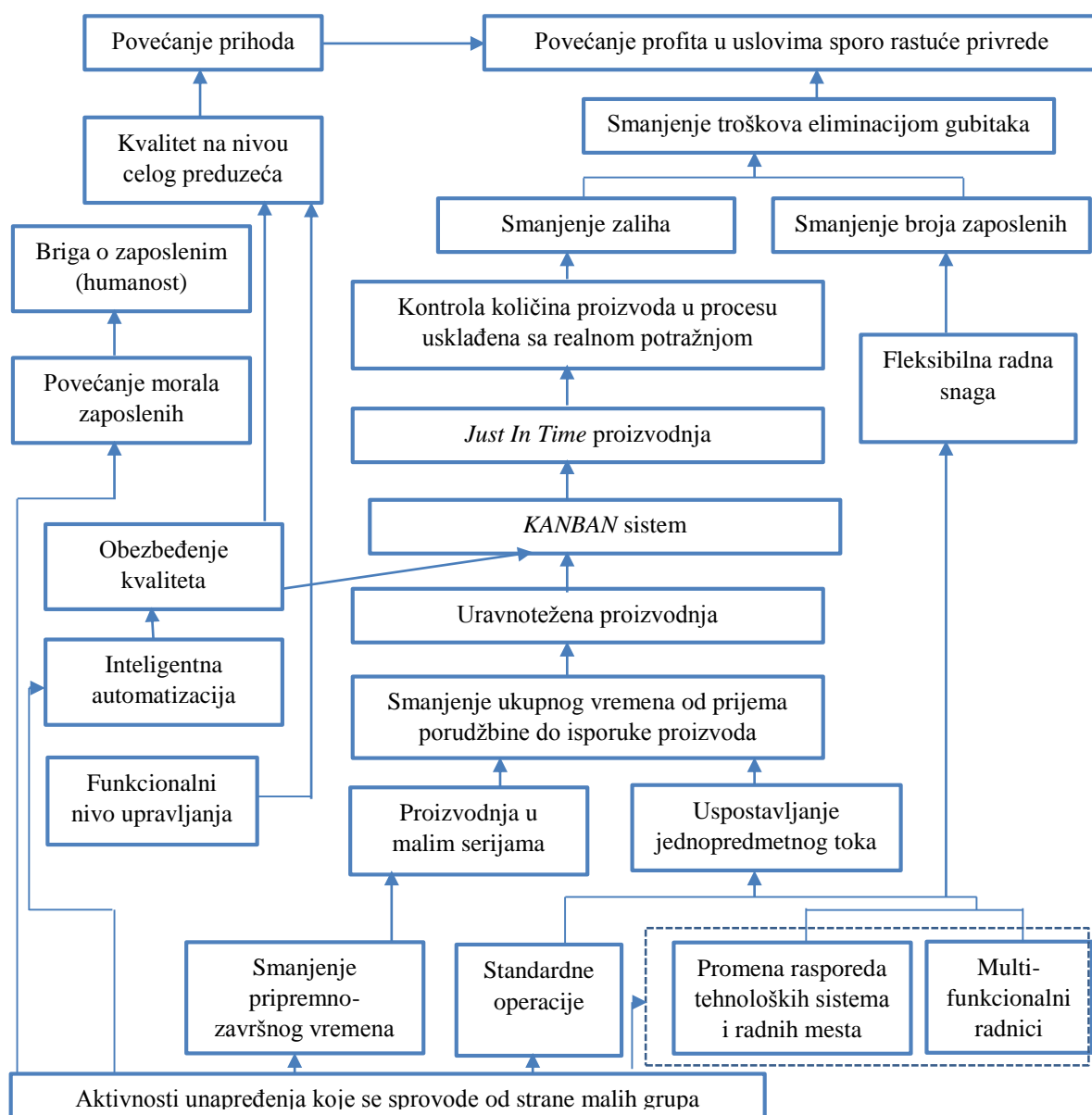
Gubitak/Alat	Mapiranje procesa	Matrica odziva lanca snabdevanja	Levak različitih tipova proizvodnje	Mapiranje kvaliteta	Mapiranje promena potražnje	Analiza tačaka odlučivanja	Fizička struktura
Prekomerna proizvodnja	L	S		L	S	S	
Čekanje	V	V	L		S	S	
Transport	V						L
Neodgovarajuća obrada	V		S	L		L	
Zalihe	S	V	S		V	S	L
Kretanje	V	L					
Greške	L			V			

Oznake: L-loša korelacija i korisnost; S-Srednja korelacija i korisnost; V-visoka korelacija i korisnost

*Mapiranje procesa* ima korene u industrijskom inženjerstvu i podrazumeva analizu procesa i beleženje svih relevantnih podataka o resursima (mašine, radna snaga, materijali, vreme) koje ti procesi koriste, a zatim se vrši kategorizacija procesa u zavisnosti od aktivnosti koje se odvijaju unutar njih (obrada, transport, kontrola kvaliteta). Poreklo *matrice odziva lanca snabdevanja* je u smanjenju vremena i logističkim kretanjima i u literaturi se može naći pod različitim nazivima. Cilj je da se identifikuju vremenska ograničenja za određene procese. *Levak različitih tipova proizvodnje* ima svoje korene u operacionom menadžmentu i ovaj alat ima za cilj da mapira različite potrebe različitih segmenata proizvodnje i na taj način identifikuje u kom segmentu se najviše može postići unapređenja i smanjiti zalihe. *Mapiranje kvaliteta* je alat koji su razvili Hines i Rich, kako bi se identifikovali delovi lanca snabdevanja koji imaju problema sa kvalitetom i pravi se razlika između grešaka na samom proizvodu, grešaka u pruženoj pratećoj usluzi kupcu i interni otpad. *Mapiranje promena potražnje* je alat koji omogućava da se identifikuje u kojim područjima procesa promena potražnje zahteva promene i ove informacije se mogu iskoristiti za redizajn toka, upravljanje fluktuacijama i njihovo smanjenje. *Analiza tačaka odlučivanja* se koristi kao alat podrške prilikom uspostavljanja “push” ili “pull” proizvodnje. *Fizička struktura* je takođe novi alat koji su Hines i Rich uveli kako bi se dobio uvid u fizičku strukturu i raspored svih elemenata procesa i olakšalo razumevanje kako proces funkcioniše.

### 2.1.4 Lean implementacija

*Lean* proizvodnja je multidimenzioni prilaz koji u sebi sadrži širok spektar menadžerskih metoda i praksi, uključujući just-in time, 5S prilaz, sistem kvaliteta, timski rad, upravljanje lancem snabdevanja i slično i kada je sve ovo integrisano u jedan dobar sistem koji generiše sinergiju među njima onda se dobija sistem visokog kvaliteta koji ne pravi gubitke i sa nivoom proizvodnje podešenim u skladu sa potrebama kupca (Shah & Ward, 2003). Monden je istakao veliki značaj aktivnosti koje se sprovode na nivou proizvodnog pogona i da su prvenstveno neophodna unapređenja na tom nivou kako bi se postigli ciljevi na višim nivoima (Monden, 1983).



Slika 2. Okvir implementacije *Toyota* proizvodnog sistema

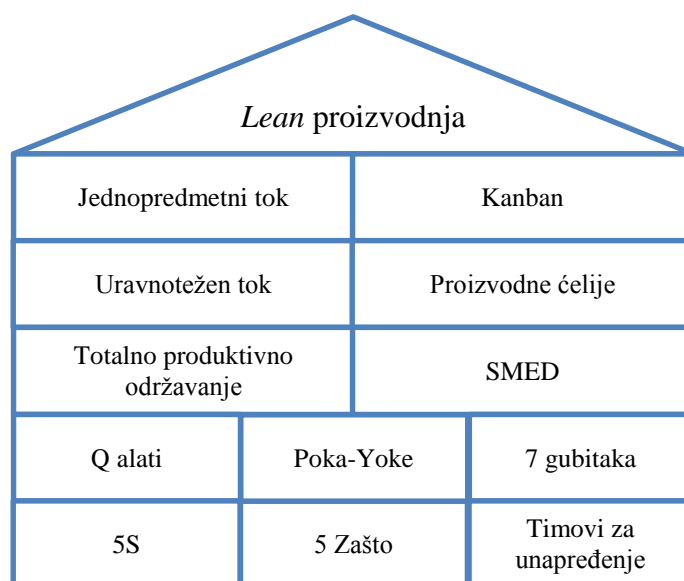
Na slici 2 je prikazan Mondenov okvir za redosled implementacije principa i prakse *Toyota* proizvodnog sistema gde je jasno istaknut tok aktivnosti, odnosno prikazana je procedura za unapređenje troškova, kvaliteta, kvantiteta i odnosa prema zaposlenim. Monden je zapravo u svojoj knjizi, *Toyota* proizvodni sistem, uspeo da teoretizuje sve ono što je *Toyota* sprovodila u praksi i sve knjige pre njegove su bile praktičko orijentisane. Napredak preduzeća može biti postignut isključivo kontinuiranim naporima svakog člana da unapredi način realizacije svojih aktivnosti.

Kontinuirani tok proizvodnje ili prilagođavanje promenama potražnje u pogledu količina i različitosti proizvoda je u *Toyota* proizvodnom sistemu postignuto pomoću dva ključna koncepta, koji su ujedno i osnovni stubovi izgradnje ovog sistema: *Just In Time* i *Jidoka*. *Just In Time* koncept ili „Tačno u pravo vreme“ se odnosi na proizvodnju i transport delova i materijala u zahtevanim količinama tačno u trenutku kada su potrebni (pravi materijal, u pravim količinama i u pravo vreme).

*Jidoka* koncept podrazumeva kontrolu kvaliteta na izvoru i omogućava unapređenje kvaliteta u svakom procesu rada i često se naziva automatizacija pomoću ljudske inteligencije. Tačnije, ovo podrazumeva sposobnost mašine da detektuje poremećaje u procesu, zaustavi ga i signalizira tehničkom osoblju koje nakon prijema upozorenja pristupa otklanjanju problema. Ako se govori o međusobnom odnosu ova dva koncepta, *Jidoka* predstavlja podršku *Just In Time* konceptu jer ne dozvoljava proizvodima lošeg kvaliteta da idu dalje kroz tok proizvodnje i prekidaju sledeći proces.

Monden ističe da se u praksi, a i u teoriji često mešaju pojam *Toyota* proizvodni sistem i Kanban sistem. On objašnjava da je *Toyota* proizvodni sistem način kako da se proizvod napravi, a kanban je način kako da se upravlja proizvodnjom. Kanban predstavlja zapravo informacioni sistem koji harmonizuje upravljanje proizvodnim količinama u svakom procesu. Najčešća forma kanban zapisa je kartica, koja se pridružuje komponentama (materijal, delovi, sklopovi) u cilju praćenja i upravljanja tokovima u proizvodnji.

U Mondenovom okviru za implementaciju su prikazani neki od najvažnijih gradivnih elemenata na kojima se zasniva *lean*, kao i tok koji je potrebno pratiti prilikom implementacije. Na slici 3 (Buchmeister et al., 2005) se mogu videti još neki od elemenata *lean*-a koji nisu do sada spomenuti i objašnjeni (5S, 5Zašto, *Poka-Yoke*, *SMED*, Q alati), a važni su i zajedno čine “bukvar” ili “slovaricu” koju moraju dobro upoznati i proučiti svi koji se odluče za implementaciju *lean* proizvodnje.



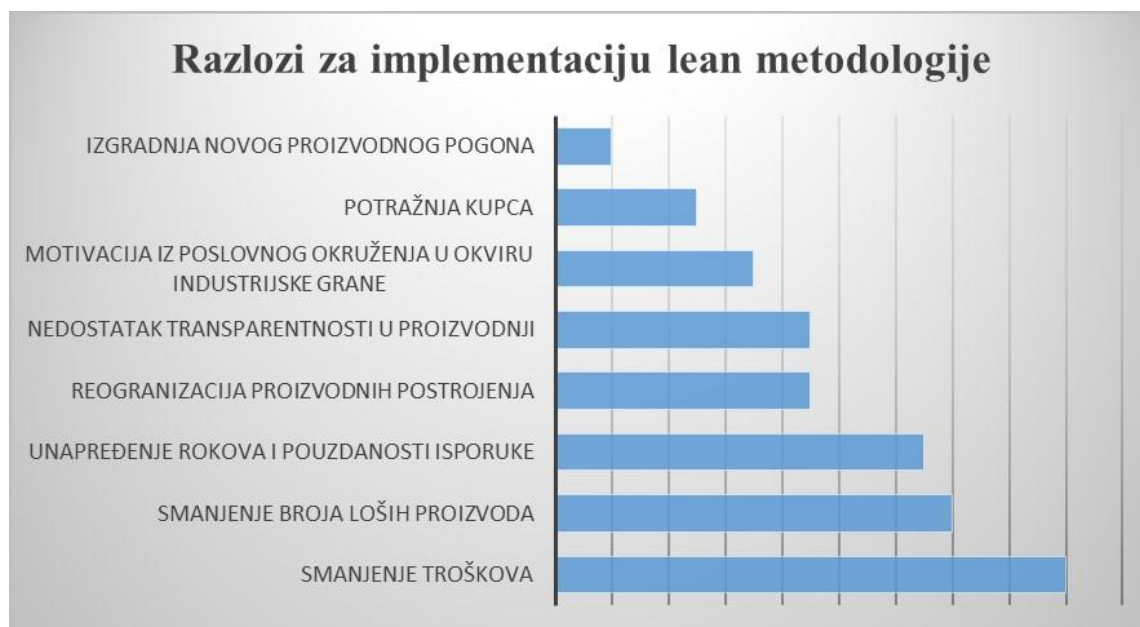
Slika 3. Gradivni elementi lean proizvodnje

5S su principi organizovanja radnog mesta, koji su definisani u Japanu i predstavljaju osnovu za sistematsko postizanje totalne organizacije, čistoće i standardizacije radnog mesta. Dobro organizovano radno mesto je sigurnije i pruža mogućnost za efikasniji i produktivniji rad izvršilaca. Sastoji se od 5 japanskih reči: (1) Seiri (Sortiranje – eliminisanje svih nepotrebnih delova, alata i postupaka), (2) Seiton (Organizovanje – mesto za sve i sve na mestu), (3) Seiso (Čišćenje – održavanje radnog mesta čistim i urednim), (4) Seiketsu (Standardizacija – Procesi rada trebaju biti standardizovani) i (5) Shitsuke (Disciplina i trening – eliminisanje loših radnih navika i konstantno uvođenje dobri). *5 Zašto* je tehnika koja se koristi kako bi se došlo do uzroka problema, a podrazumeva nekoliko iteracija postavljanja pitanja “zašto” je nešto tako kako jeste. *Q alati* su tehnike grafičkog prikaza procesa (dijagram toka, pareto dijagram, histogram) kako bi se oni što bolje upoznali, a posle i unapredili (Buchmeister et al., 2005). *Poka-yoke* podrazumeva skup inženjerskih tehnika, procedura ili uređaji koji ne dozvoljavaju da dođe do greške u procesima rada i fokus je na otklanjanju uzroka nastanka greške. *SMED* (eng. *Singe Minute Exchange of Dies*) podrazumeva tehniku brzog menjanja alata, jer se u toku tog vremena ne stvara nova vrednost i potrebno ga je što je više moguće skratiti.

Istraživanje koje je sproveo *Allied Consultants Europe* 2008. godine na temu operacionog i *lean* menadžmenta je pokazalo da u zemljama u kojima je obavljeno istraživanje (Švedska, Danska, Holandija, Francuska, Švajcarska, Italija, Nemačka i Češka) čak 69% proizvodnih preduzeća koristi *lean*, 18% planira da implementira i samo 13% preduzeća je pokazalo nezainteresovanost za primenu. Takođe je istaknuto da preduzeća koja primenjuju *lean* filozofiju u svom poslovanju, značajno povećavaju šanse da postanu vrhunski proizvođači koje karakteriše isporuka proizvoda visokog kvaliteta i na vreme, visok stepen spremnosti da prihvate promene, platformu za programe unapređenja i slično.

Maskel i Kenedi su naglasili da je potreba za implementacijom *lean* proizvodnje izvedena iz potrebe da preduzeća povećaju svoju produktivnost, smanje troškove, povećaju fleksibilnost i kreiraju veću vrednost za kupca i na taj način povećaju sveukupne performanse preduzeća, ubrzaju tok novca i povećaju profit (Maskell & Kennedy, 2007). Rivera i Manotas ističu da je i jedan od velikih problema implementacije *lean*-a upravo nepostojanje jedinstvene, standardizovane i jednako prihvaćene metodologije pomoću koje bi se mogla predvideti, izmeriti i pridružiti vrednost benefitima koji se postižu (Rivera & Manotas, 2013). Oni ističu da je *lean* mnogo više od redukcije troškova, uštede novca i eliminacije gubitaka jer priprema preduzeće za sprovođenje kontinuiranih unapređenja, kreira radnu disciplinu i ojačava operativne mogućnosti, ali je upravo ove mogućnosti jako teško vrednovati i kvantifikovati. Različite tehnike unapređenja imaju različite uticaje na vreme, novac, radnu snagu i veoma bi značajno bilo razviti jedan sistem sa različitim nivoima detaljnosti koji bi sadržao relacije između svih proizvodnih varijabli i njihov uticaj koji one imaju na ekonomske rezultate preduzeća. I dalje nedostaje jedan automatizovani sistem koji bi mogao da evaluira koristi od implementacije *lean*-a.

Na osnovu istraživanja u velikim preduzećima u oblastima mašinske i automobilske industrije koje je sprovedeno od strane Politehničkog univerziteta u Dortmundu, identifikovani su primarni razlozi za implementaciju *lean* metodologije (slika 4), a najvažniji su smanjenje troškova, smanjenje broja loših proizvoda i unapređenje rokova i pouzdanosti isporuke (Peter & Lanza, 2011).



Slika 4. Razlozi za implementaciju *lean* metodologije

Menadžeri često gomilaju zalihe sirovina i gotovih proizvoda kako bi zadovoljili neočekivane zahteve (Ohno, 1988). On naglašava da preduzeće nije nezavisno i njegovo poslovanje je povezano sa spoljašnjim okruženjem i ne treba gomilati zalihe zbog sopstvene sigurnosti. *Lean* upravo insistira na prevenciji, jer ako se zalihe drže u preduzeću zbog nastanka nekih nepredviđenih okolnosti kao što je na primer kvar mašine i pojava zastoja u proizvodnji, zašto onda ne delovati preventivno pre nego što se tako nešto desi. Istraživanje koje su sproveli Demeter i Matyusz je pokazalo da *lean* ima veliki uticaj i na vreme zadržavanja zaliha u preduzeću, odnosno da je koeficijent obrta zaliha veći u velikim *lean* preduzećima (Demeter & Matyusz, 2011). U istraživanju koje su oni sproveli došli su do rezultata da je vreme zadržavanja sirovina i proizvoda u procesu za oko 35% manje u preduzećima koja su implementirala *lean* u odnosu na tradicionalna preduzeća, dok kod gotovih proizvoda taj procenat ide i do 50%.

Ono što se pojavljuje kao obeshrabrujući faktor kod implementacije *lean* proizvodnje je sam taj period tranzicije od postojećeg načina poslovanja ka *lean*-u. Implementacija *lean*-a se pojednostavljenim rečnikom može nazvati kao kratkotrajan “bol”, sa dugoročnim rezultatima, koristima i postignućima (Tapping et al., 2002). *Lean* dovodi do brzih i vidljivih operativnih unapređenja, ali nema brzih finansijskih efekata i vidljivog smanjenja troškova proizvoda. Naime, period tranzicije dovodi do povećanja troškova proizvoda, smanjenja produktivnosti, smanjenje tekuće imovine (u tradicionalnom sistemu poslovanja zalihe se posmatraju kao vredna imovina, a za *lean* one predstavljaju gubitke) i smanjenja profita, sa mogućom pojavom i gubitka. Kao objašnjenje prethodno navedenih činjenica, Arbulo-Lopez i Fortuny-Santos navode primer da preduzeća do perioda  $n-1$  proizvode kako bi zadovoljilo potrebe skladišta, a onda u  $n$ -tom periodu podešavaju proizvodnju na neto potrebe (uz iste planove prodaje kao u prethodnom periodu), što za posledicu ima prazno skladište (Arbulo-Lopez & Fortuny-Santos, 2010). U ovom  $n$ -tom periodu kapaciteti nisu u potpunosti iskorišćeni, a fiksni troškovi ostaju isti, što upravo dovodi do gore navedenih posledica koje već u  $n+1$  periodu počinju da se ublažavaju pa čak i eliminišu. Taj period podešavanja poslovanja i nivelacije proizvodnje i prelazak na *pull* sistem je kritičan trenutak kada se pojavljuju gubici što dovodi do obeshrabrenja za dalji nastavak implementacije. Istovremeno, u ovom period tranzicije, većina radnika mora da prođe određene treninge na temu *lean* filozofije i veći deo vremena da posveti radu na pripremi i implementaciji *lean*-a, što povećava troškove jer se gube njihovi radni sati koje bi trebalo da provedu u proizvodnji i radu (Li et al., 2012). Tako da se u ovom periodu svi gubici i troškovi jako primete, a sa druge strane ušteda se ne vidi jer efekti implementacije postaju vidljivi tek kasnije.

Da li će neko preduzeće započeti svoje tzv. “*lean* putovanje” (ovaj termin je u stranoj literaturi popularizovan kao *lean journey*) prvenstveno zavisi od toga koliko oni koji

odlučuju o tome zaista razumeju kako da implementiraju *lean*, koje će se promene desiti u preduzeću kada se ono transformiše i kako će *lean* uopšte uticati na performanse sistema. Iako je *lean* proizvodnja široko priznata zbog poboljšanja produktivnosti i efikasnosti, povećanju kvaliteta proizvoda i unapređenju isporuke kupcima, troškovi za zapošljavanje jednog *lean* inženjera sa punim radnim vremenom su obeshrabrile mnoga mala preduzeća da krenu sa implementacijom (Chen et al., 2010). Međutim, ukoliko bi koristi od implementacije *lean*-a mogle biti prikazane donosiocima odluka pre bilo kakvog ulaganja i angažovanja resursa, verovatno bi se povećala primena *lean*-a u preduzećima. Da bi se preduzeće moglo nazvati jednom *lean* organizacijom, neophodno je da se potpuno promeni način razmišljanja i da se konstantno radi na unapređenju svesti šta je to zapravo *lean* (Tapping et al., 2002). Takođe je potrebno napraviti razliku između pojmova: BITI *lean* i RADITI po *lean* principima, jer mnoga preduzeća tvrde da rade po svim principima *lean*-a a nisu još uvek “postali” *lean* u smislu da ti pojedinačni naponi nisu povezani sa sveobuhvatnom i opštom strategijom preduzeća. Pre nego se krene u samu implementaciju *lean* proizvodnje neophodno je jako dobro razumeti sve elemente poslovanja jednog preduzeća i ojačati proces komunikacije, u smislu ohrabrivanja svih zaposlenih da daju svoje ideje u rešavanju problema. *Toyota* je provela više od 50 godina na usavršavanju *lean* proizvodnje a i dalje rade na tome i ohrabruju zaposlene da kontinuirano traže načine da unaprede tok vrednosti.

Zaključak ovog poglavlja posvećenog *lean* proizvodnji i njenoj implementaciji je izveden na osnovu 25 karakteristika koje su Bicheno i Holweg identifikovali i koje se mogu razumeti kao izvesan vodič ili podsetnik šta sve treba imati na umu menadžment preduzeća koje se odlučilo da u svoje poslovanje implementira *lean* filozofiju (Bicheno & Holweg, 2009). Pre svega, tu je uvek kupac kao polazna i krajnja tačka i treba se truditi da se procesi oblikuju i optimizuju prema kupcu a ne prema unutrašnjim potrebama preduzeća. Precizno postavljeni ciljevi su takođe jedan od važnih faktora uspeha, jer uvek se postavlja pitanje ako se nešto radi, zašto se to radi i zašto se baš radi tako. Jedan od imperativa *lean* proizvodnje je jednostavnost, ne u smislu implementacije *lean*-a, to nije jednostavno, nego u smislu svega onoga što *lean* nameće – jednostavne operacije, tehnologije, upravljanje i slično. Kao što je već nekoliko puta spomenuto, *lean* postoji kako bi se eliminisali gubici, a s druge strane, sistem organizovao na način da se obezbedi prevencija nastajanja gubitaka.

Mnoga preduzeća imaju jako loš sistem preventivnog održavanja ili se zbog smanjenja troškova odlučuju na kupovinu jeftinijih a manje pouzdanih mašina (Ćosić et al., 2012). Praksa pokazuje da su mnogo veći troškovi koji su izazvani zastojećima u proizvodnji, jer se na taj način prvenstveno dolazi u problem sa kašnjenjem u isporuci što u današnjim uslovima intenzivne konkurencije može biti izuzetno ozbiljan problem, jer će kupac razočaran



kašnjenjem izabrati drugog. Pored ovog najopasnijeg gubitka, tu su i troškovi koji nastaju otklanjanjem zastoja, popravkama mašina i slično. Ako postoji pouzdan sistem, onda se izbegava još jedan važan gubitak a to je ponovna obrada proizvoda, i treba težiti ka tome da se dobar proizvod koji je zadovoljavajućeg kvaliteta dobije iz prvog pokušaja. Vidljivost i transparentnost svih operacija je značajna sa aspekta lakšeg uočavanja zastoja i problema koji mogu nastupiti u tokovima. Kao što je već u nekoliko navata spomenuto, što se često pojavljuje kao sinonim za *lean* proizvodnju je *pull* sistem i uravnoteženi tokovi, što nameće preduzeću obavezu da proizvodi samo u skladu sa potrebama kupca i ne gomila zalihe. Treba težiti izbegavanju preopterećenja sistema u svakom smislu te reči i uskladiti potrebe preduzeća sa dinamikom isporuke dobavljača sa jedne strane i sa druge strane planirati proizvodnju u skladu sa potrebama kupca.

O značaju znanja, poverenja, oranzacione kulture koja podstiče sve zaposlene da učestvuju u unapređenjima i slobodno iznose svoja mišljenja koja će neko saslušati, najbolje govori jedna Ohno-va rečenica koja glasi „*Nužnost je majka inovacija*“ (Ohno, 1988). To znači da u preduzeću treba stvoriti takvu atmosferu da svi zaposleni moraju da osete potrebu za promenama, za unapređenjima, da ne pružaju otpor novom načinu rada. A isto tako moraju da budu skromni u smislu da budu svesni koliko ne znaju i da se trude da što više nauče. Uz ovo, neophodno je da svi zaposleni dobiju određena zaduženja, područja sopstvene odgovornosti kako bi osetili svoj značaj i položaj u sistemu i bili motivisani da rade.

Ono što karakteriše savremena preduzeća jeste velika zavisnost od okruženja, prvenstveno od dobavljača i partnera, tako da je uspostavljanje i negovanje partnerstva neophodan uslov na putu ka uspehu. Ako se govori o implementaciji *Just In Time* sistema, o kome je već bilo reči, gde je osnovna odrednica “pravi material, u pravo vreme i na pravom mestu”, to je prosto nemoguće postići ukoliko nema razvijen pouzdan sistem nabavke sa dobavljačima, a druge strane ukoliko preduzeća izmeste neke operacije i aktivnosti i prepuste određenom partnerskom preduzeću da ih realizuju, opet je pouzdanost ključni faktor. Tako da preduzeća moraju težiti ka što boljoj saradnji, kako internoj u smislu saradnje među funkcijama, tako i eksterno sa dobavljačima i drugim partnerima. Velika šansa za unapređenja leži upravo u umrežavanju sa svim preduzećima u lancu snabdevanja i treba voditi računa da svaki član tog lanca što više doprinese stvaranju vrednosti za kupca. Posebnu pažnju je potrebno posvetiti “uskim grlima” u procesima, jer vreme izgubljeno u jednom segment poslovanja, predstavlja izgubljeno vreme za ceo sistem. Skraćenje vremena trajanja procesa i smanjenje troškova su prirodna posledica svih prethodno navedenih elemenata koji čine deo jednog *lean* sistema. Uz skraćenje vremena i smanjenje troškova, kao posledica dolazi i povećanje efikasnosti, produktivnosti, unepređenje odnosa sa kupcima, drugim rečima obezbeđuje se rast, razvoj i napredak predzeća.

## 2.2 MAPIRANJE TOKA VREDNOSTI

Prilikom analize literature i trenutnog stanja u oblasti mapiranja toka vrednosti, polazi se prvenstveno od malo šireg pojma kome ova oblast pripada a to je područje upravljanje tokom vrednosti. U istoimenoj knjizi, upravljanje tokom vrednosti je definisano kao proces planiranja i povezivanja *lean* inicijativa kroz sistematično beleženje podataka i njihovu analizu (Tapping et al., 2002). To je zapravo strategija unapređenja koja povezuje potrebe top menadžmenta sa potrebama upravljačkih struktura na operativnom nivou, pri čemu top menadžment preduzeća mora iskreno da veruje u koristi procesa upravljanja tokom vrednosti pre nego što primeni to u okviru organizacije, a menadžeri na operativnom nivou upravljanja moraju da razumeju kako taj proces zapravo funkcioniše i da ga primene kako bi unapredili i olakšali proces stvaranja vrednosti. Drugim rečima, prilaz upravljanju ne može više da se zadržava na agregatnom nivou, odnosno nivou preduzeća, nego nivo upravljanja mora da se prebaci i na operativni nivo jer se većina problema nalazi tamo, a isto tako i pruža najveće mogućnosti za unapređenje.

Upravljanje tokom vrednosti se sastoji od 8 koraka: (1) posvetiti se implementaciji *lean*-a (2) izabrati tok vrednosti, (3) učiti o *lean*-u (4) mapirati trenutno stanje toka vrednosti, (5) odrediti parametre za merenje unapređenja, (6) mapirati buduće – željeno stanje toka vrednosti, (7) kreirati *kaizen* planove – dnevni planovi kontinuiranog unapređenja u kojim učestvuju svi zaposleni i (8) implementirati *kaizen* planove (Luyster & Tapping, 2006).

U jednom preduzeću, se pod procesom upravljanjem tokom vrednosti može smatrati samo onaj proces koji povezuje zaposlene, *lean* alate, parametre za merenje stepena unapređenja i izveštavanje. Sistem upravljanja mora biti dobro postavljen kako bi obezbedio uopšte održivost *lean* filozofije, a to je moguće, između ostalog postići i konstantnom edukacijom i treningom kako bi svi u preduzeću što bolje razumeli *lean* i kontinuirano unapređivali svoje znanje. U nekoliko navrata je istaknuta važnost uravnoteženja tokova i njihove neprekidnosti, a dobar sistem upravljanja tokom vrednosti treba da obezbedi kontrolisan tok procesa na nivou proizvodnog sistema. Implementacija *lean* sistema je uvek praćena formiranjem timova koji rade na unapređenju celog procesa ili na konkretnom unapređenju unutar procesa uz koordinatora tima. Međutim, najvažnije je imati na umu da sprovođenje ovih formalnih koraka u smislu definisanja timova, imenovanja koordinatora i slično, neće doprineti unapređenju. Ono na čemu se mora insistirati je da se svi zaposleni uključe kako bi se dobile što kvalitetnije informacije o stvarnom stanju, a isto tako je potrebno ohrabrivati te zaposlene da slobodno iznose svoje ideje i predloge prilikom kreiranja budućeg stanja.

Knjiga “Nauči da vidiš” počinje rečenicom: “*Gde god postoji proizvod za kupca, postoji i tok vrednosti i izazov leži u tome da vidiš to*” (Rother & Shook, 2009). U ovoj knjizi, tok vrednosti je definisan kao skup aktivnosti, kako onih koje dodaju vrednosti tako i onih koje ne dodaju, neophodnih da se proizvod provede kroz sve procese (od sirovog materijala do gotovog proizvoda za kupca) i da se kreira kompletan tok (od koncepta do pokretanja). Svi troškovi koji nastaju realizacijom ovih aktivnosti se pridružuju proizvodu i uvećavaju njegovu vrednost. A vrednost je dodata proizvodu samo onda kada su zadovoljeni sledeći kriterijumi (Whicker et al., 2009; Lee & Snyder, 2006): (1) primetna je fizička promena na proizvodu, (2) kupcu je stalo do te promene i obraća pažnju na nju, (3) proizvod je ispravno proizveden iz prvog puta i (4) kupac primećuje razliku ukoliko je neka aktivnost eliminisana.

Krajnji cilj eliminacije aktivnosti koje ne dodaju vrednost jeste zapravo skraćivanje vremena trajanja procesa. Jedna od važnijih mera uspešnosti implementacije *lean*-a je smanjenje vremena koje protekne od momenta kada preduzeće dobije porudžbinu do momenta isporuke proizvoda i naplate (eng. *lead time*) (Li, 2012). Osnovna pretpostavka je da što manje proizvod provede vremena u sistemu, manje će mu se troškova pridružiti. S tim da kod analize vremena sa ovog aspekta, dobro je znati da postoje 4 kategorije vremena na koje treba obratiti pažnju i težiti njegovom skraćivanju:

- Ukupno vreme – suma svih vremena tokom kojeg se dodaje vrednost proizvodu,
- Pripremno-završno vreme – suma svih vremena potrebnih da se tehnološki sistem ili radno mesto pripremi za obradu sledećeg proizvoda,
- Ukupno vreme transporta – suma svih vremena kada se proizvod pomera sa jednog na drugo mesto u okviru procesa i
- Ukupno vreme čekanja – što uključuje i vreme potrošeno na ispitivanje kvaliteta proizvoda, vreme čekanja proizvoda da se otkloni kvar na mašini i slično.

Osim konkretnog vremena obrade, sve ove druge kategorije ne dodaju vrednost proizvodu. Međutim, iako neke aktivnosti ne dodaju vrednost proizvodu, one prosto moraju da postoje jer bez njih ne bi bilo moguće realizovati proces. Na primer, pripremno-završno vreme ili vreme transporta su definitivno vremena u toku kojih se ne dodaje nikakva vrednost proizvodu, ali nemoguće ih je eliminisati. Kada su u pitanju ovakve aktivnosti, onda se naglasak stavlja na što većoj racionalizaciji istih. Ali kada imamo recimo vreme koje se troši da bi neki radnik otišao do nekog mesta da uzme delove, to je definitivno aktivnost koja može biti potpuno uklonjena na način što će se radno mesto dugačije organizovati i delovi će biti dostupni radniku na licu mesta.

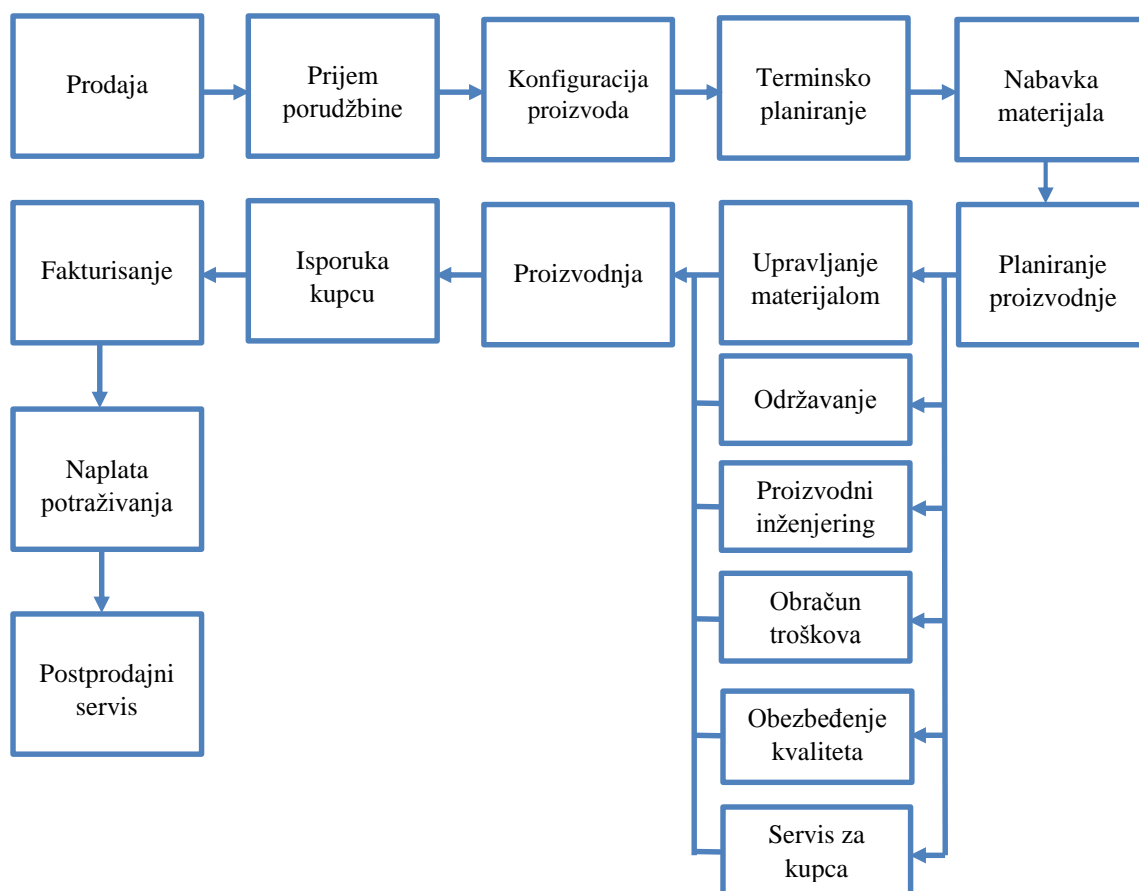
Nova vrednost se stvara u procesima rada preduzeća koji predstavljaju skup aktivnosti koje ulazne veličine, putem procesnih pretvaraju u izlazne veličine (Zelenović, 2012; Maksimović, 2003). Lanac vrednosti predstavlja skup funkcija u okviru kojih se stvara nova vrednost uključujući i one funkcije koje obezbeđuju odnos sa okolinom (dobavljači i partneri koji učestvuju u stvaranju vrednosti). Razlika između tradicionalnog lanca snabdevanja (lanca vrednosti) i toka vrednosti je u tome što je tradicionalni prilaz obuhvatao sve aktivnosti svih preduzeća uključenih u lanac snabdevanja, dok se kasnije fokusiraju samo na specifične delove preduzeća koji zaista dodaju vrednost proizvodu koji se posmatra (Hines & Rich, 1997). A tok vrednosti daje daleko više sadržajni pogled na procese koji dodaju vrednost proizvodu unutar jednog preduzeća. Međutim, mnoga preduzeća nisu u mogućnosti da identifikuju i prepoznaju tok vrednosti i ograničavaju tokove vrednosti samo na proizvodni proces. Procesi su često ukorenjeni u ljudski rad i teško je da radnici mogu da vide bilo šta drugo, osim da ono što rade, rade na potpuno ispravan način (Maskell et al., 2012). Zato se procedura identifikacije tokova vrednosti sprovodi u nekoliko iteracija i u tome učestvuju zaposleni iz različitih departmana preduzeća, koji prolaze kroz čitav proces, prikupljaju i beleže sve relevantne informacije, razgovaraju sa radnicima koji su direktno povezani sa procesima koji se snimaju kako bi dobili što kvalitetnije informacije koje nisu vidljive za njih. Uvek je dobro da u tom timu učestvuje i neko ko je potpuno van sistema, kako bi se povećala objektivnost procene.

Preteča mapiranja toka vrednosti je zapravo mapiranje procesa koje utemeljeno još početkom dvadesetog veka, a razlika je samo u posmatranju stvari sa različitog nivoa detaljnosti i različite perspective (Lee & Snyder, 2006). Bez obzira na nivo detaljnosti, cilj je isti a to je da se dobiju odgovori na pitanja gde se preduzeće trenutno nalazi, a gde želi da bude, kako da stigne do tog željenog stanja i koje su to prepreke i teškoće koje se očekuju na tom putu do cilja. Bitno je samo pre početka mapiranja, precizno definisati cilj, odnosno šta je zapravo cilj tog konkretnog projekta i na kom nivou je potrebno implementirati unapređenja. Bez obzira koji nivo detaljnosti je izabran, i mapiranje procesa i mapiranje toka vrednosti obezbeđuju vizualizaciju koja olakšava analizu i ukazuje na kritična mesta kojima je potrebno unapređenje. Nekoliko pitanja svakako treba postaviti pre početka mapiranja (Locher, 2008) kao na primer šta će tačno biti obuhvaćeno mapiranjem (koji proizvod ili usluga), koji procesi će biti uključeni, ko treba da bude uključen u tim, kako se meri uspeh, ko donosi odluke i šta treba uraditi pre početka mapiranja kako bi tim koji radi na tome nesmetano obavio posao.

Mapiranje toka vrednosti je pre svega komunikacioni alat i pokazuje veze između informacionog toka i toka proizvoda, odnosno toka materijala kao i glavne prepreke u tokovima i koristi se da dokumentuje uslove trenutnog stanja kao i dizajn budućeg – željenog

stanja (Rivera, 2006). Pored ove komunikacione funkcije, ona se koristi i kao alat za strateško planiranje i kao tehnika koja pomaže da se proizvodni tok razume i uobliči na adekvatan način (Pan et al., 2010). Konkretno koristi od mapiranja toka vrednosti koje su svojim istraživanjima identifikovali Abdulmalek i Rajgopal su pre svega vizualizacija toka materijala i njemu pridruženog toka informacija, identifikacija koraka i aktivnosti koje ne stvaraju vrednost, unapređenje svih procesa unutar sistema i što je najvažnije određivanje prioriternih aktivnosti koje doprinose postizanju željenog budućeg stanja (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

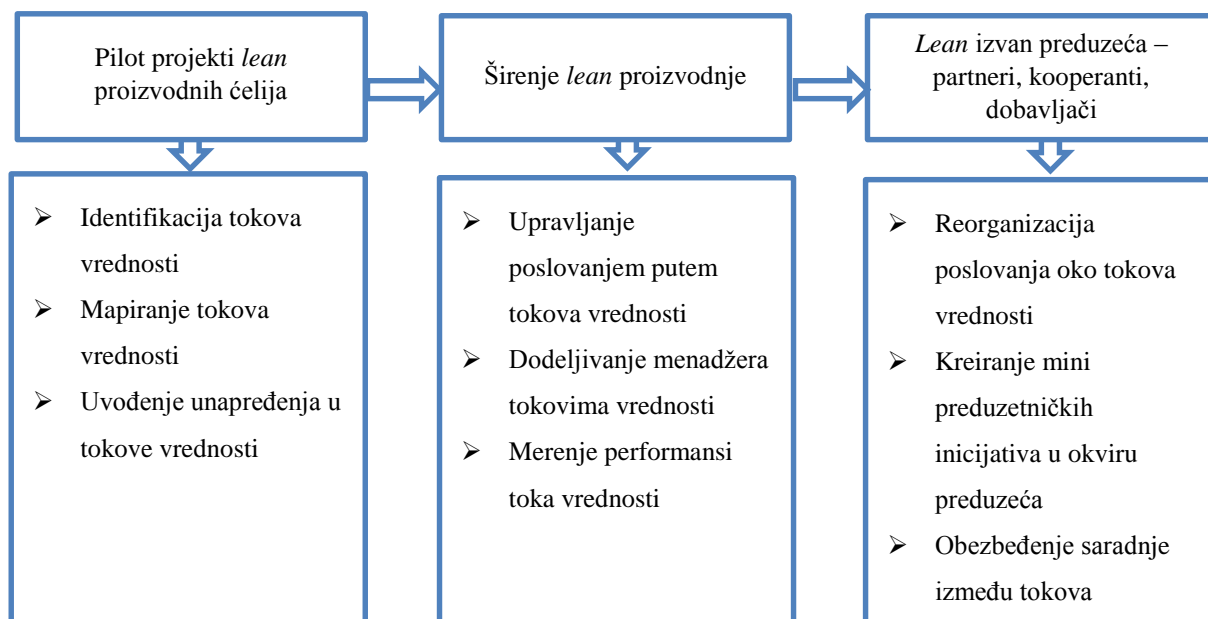
*Lean* preduzeća kreiraju vrednost u svojim procesima za identifikaciju, razvoj i proizvodnju novog proizvoda ili usluge locirajući procese jedan pored drugog i nesmetano procesuirajući po jedan proizvod u jednom trenutku (Baggaley & Maskell, 2003a). Oni ističu da u cilju ojačavanja procesa kreiranja vrednosti preduzeća treba da organizuju sve procese u formalne tokove vrednosti za sve proizvode koji imaju iste ili slične funkcije i karakteristike. Drugim rečima, tok vrednosti je sastavljen od svih proizvoda koji imaju istu putanju u okviru preduzeća, od momenta prijema porudžbine od kupca do momenta isporuke proizvoda, naplate i postprodajnog servisa i takav jedan tipčan tok je prikazan na sledećoj slici:



Slika 5. Elementi toka vrednosti

Lee i Snyder ipak upozoravaju da treba biti obazriv prilikom donošenja odluke da li primeniti tehniku mapiranja toka vrednosti, jer definitivno postoje situacije kada ona nije primenjiva i može da izazove i kontraefekat, pa se tim situacijam preporučuje mapiranje na nivou procesa u kombinaciji sa grupnom tehnologijom (Lee & Snyder, 2006). Naime, ako je u pitanju manji obim proizvodnje, ako postoji veliki broj proizvoda koji nemaju slične tehnološke postupke proizvodnje, ako jako mnogo proizvoda koristi istu opremu i slično, onda mapiranje toka vrednosti može biti suviše komplikovano. Jedan od ključnih ciljeva mapiranja je identifikacija procesa koji ne stvaraju dodatnu vrednost sa ciljem njihove eliminacije i zajedno sa planom implementacije toka vrednosti predstavljaju strateške alate koji se koriste da identifikuju i odrede prioritet aktivnosti kontinuiranog unapređenja. Prvo se kreira mapa trenutnog stanja, koje se vrši prikupljanjem informacija iz proizvodnog sistema i time se obezbeđuju informacije potrebne za razvoj budućeg stanja. Fokus se stavlja na smanjenje vremena trajanja ciklusa proizvodnje, skraćivanja vremena trajanja aktivnosti koje ne dodaju vrednost i eliminisanje gubitaka. U odnosu na druge tehnike mapiranja, koje se u većini slučajeva baziraju na toku proizvoda, mapiranje toka vrednosti uzima u obzir i tok informacija, zatim sadrži informacije o tome gde je materijal uskladišten i na koji način se taj materijal kreće kroz sistem.

Tradicionalna organizacija po departmanima, odnosno centrima izvrsnosti, nije pružala mogućnost jednostavne identifikacije toka vrednosti, dok se organizacija zasnovana na tokovima vrednosti mora uvoditi postepeno i sinhronizovano sa implementacijom *lean* filozofije.



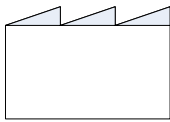
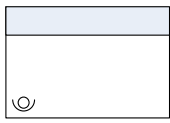
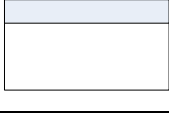
Slika 6. Faze uvođenja organizacije zasnovane na toku vrednosti

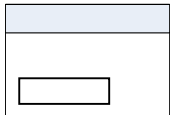

Na slici 6 su prikazani faze i koraci u oblikovanju organizacije u zavisnosti od faze implementacije *lean*-a u kojoj se preduzeće nalazi (Baggaley & Maskell, 2003a). Mapiranje toka vrednosti je ključni alat za vizualizaciju procesa koji pomaže u razumevanju tokova materijala, informacija i novca i da se vidi mnogo više od gubitaka. Osnovni cilj upravljanja tokom vrednosti jeste eliminacija gubitaka iz proizvodnih procesa i operacija, skraćanje vremena trajanja procesa, smanjenje troškova i unapređenje kvaliteta (Wang & Qingmin, 2009). Samo vizuelni efekti obezbeđuju informacije za razumevanje delova, veza, skrivenih gubitaka i vizualizacija vodi do dubljeg razumevanja produktivnosti i drugih performansi procesa (Lee & Snyder, 2006).




Mapiranje toka vrednosti ne može da postoji u izolaciji bez dobrog razumevanja *lean* principa, a veoma često se dešava da neki ključni i kritični elementi *lean*-a budu izostavljeni u primeni. Često se dešava da menadžeri zapravo i ne razumeju kako bi određeni tok vrednosti zapravo i trebao da izgleda nakon implementacije nekih unapređenja. S obzirom da različiti kupci, odnosno grupe kupaca različito definišu vrednost, mapiranje toka vrednosti bi trebalo biti napravljeno jedinstveno za svakog pojedinačnog kupca u skladu sa njihovim zahtevom (Waddel, 2010).



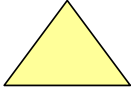


U nastavku će biti prikazani osnovni simboli koji se koriste pri kreiranju sadašnjeg i budućeg stanja mape toka vrednosti, kao i preporučeni koraci kojih se treba pridržavati prilikom mapiranja (Lee & Snyder, 2006; Locher, 2008; Tapping et al., 2002). Svi simboli potrebni za kreiranje mape toka su podeljeni u tri kategorije: simboli za označavanje procesa, za označavanje informacija i označavanje materijala (tabela 2) i predstavljaju praktično standard koga se svi pridržavaju.

Tabela 2. Simboli za mapiranje toka vrednosti i značenje









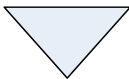




Simboli za označavanje procesa		
Ikona	Naziv	Objašnjenje
	Kupac/Dobavljač	Kupac i klijent pripadaju elementima toka koji su iz okruženja. Dobavljač se pozicionira na početku toka, a kupac na kraju.
	Proces	Ovom ikonom se označava proces uz označavanje radnika koji je raspoređen na tom procesu. Naziv procesa ili aktivnosti, koje čine deo toka materijala, se beleži u zaglavlju ikone, dok se naziv departmana ili funkcije kojoj pripada upisuje u centralni deo.
	Upravljanje proizvodnjom	Ista ikona kao i za označavanje procesa ili aktivnosti s tim da ovaj proces deli više različitih funkcija. Uključuje procenu koliko radnika je potrebno za određeni tok vrednosti.

	Proces/aktivnost sa informacijama o tehnologiji	Označava se isto kao i običan proces, s tim što se u donjem levom uglu upisuju informacije o tehnologiji koja se primenjuje. A ukoliko je aktivnost potpuno manuelna onda se takođe tu označi.
	Tabela sa podacima	Tabela sa informacijama se stavlja ispod sveke druge ikone koja treba određene podatke za analizu sistema. Obično su to podaci o vremenu trajanja procesa, pripremno-završnim vremenima i slično.

Simboli za označavanje informacija		
Ikona	Naziv	Objašnjenje
	Proizvodnja	Predstavlja vizuelni signal koji pokreće proizvodnju.
	Proizvodnja u serijama	Označava proizvodnju u serijama.
	Baza podataka	Označava mesto gde su uskladišteni podaci o toku vrednosti.
<u>Informacije</u>	Informacije	Služi za beleženje svih relevantnih informacija.

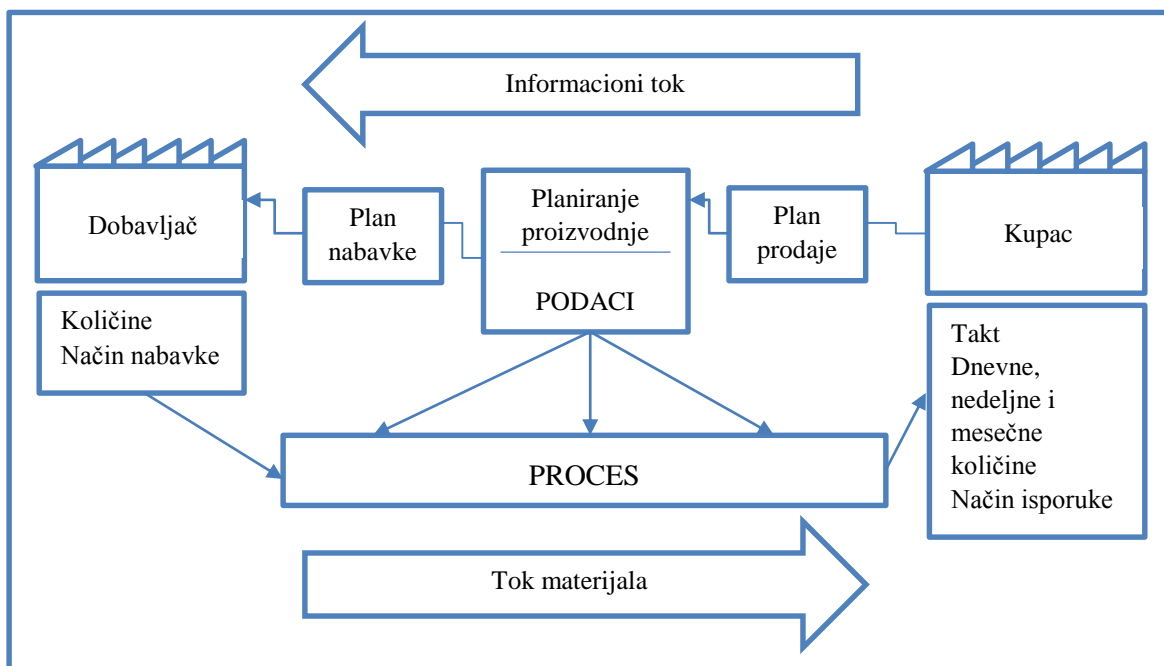
Simboli za označavanje materijala		
Ikona	Naziv	Objašnjenje
	<i>Pull</i> sistem	Oznaka koja ukazuje da je potrebno preuzeti materijal iz skladišta.
	Vozilo za transport	Ikona koja ukazuje na eksterni transport i uz nju se mogu staviti podaci i o frekvenciji transporta.
	Zalihe	Označava materijal ili proizvode koji čekaju da budu procesirani. Služi za označavanje skladišta i materijala i gotovih proizvoda.
	Supermarket	Oznaka koja se koristi u <i>pull</i> sistemu proizvodnje i ukazuje na zalihe koje su dostupne sledećem procesu, odnosno krajnjem kupcu.
	Kretanje informacija	Označava kretanje informacija ili materijala od procesa do procesa.



	FIFO	Ukazuje na pravilo koje podrazumeva da se prvo obrađuje onaj zahtev koji je prvi stigao u sistem.
	Radnik	Označava radnika koji je zadužen za određenu aktivnost ili process.
	Više radnika	Ovaj simbol se koristi da prikaže koliko radnika je angažovano na nekoj aktivnosti ili procesu i uz to mogu da se unesu informacije koliko procenata je neki radnik angažovan.
	Telefon	Simbol koji označava da se određene informacije prikupljaju putem telefona.
	Eksplozija	Služi za naglašavanje delova procesa koji su kritični i kojima je unapređenje najneophodnije.
	Manuelni tok informacija	Označava tok informacija koji nije automatizovan.
	Elektronske informacije	Tok informacija koji ide automatizovanim informacionim sistemom.
	“Idi da vidiš”	Ovaj simbol služi za obeležavanje mesta u procesu gde je potrebno prikupiti detaljnije informacije, ali ne postoji automatizovani system za obezbeđenje ovih informacija nego je potrebno otići na lice mesta kako bi se zabeležili podaci.
	Kanban signal	Ovaj simbol predstavlja signalne zalihe, odnosno upozorenje da je nivo zaliha ispod dozvoljenog minimuma
	Segment vremenske linije	Ukazuje na vremena u toku kojih se dodaje ili ne dodaje vrednost
	Kraj vremenske linije	Označava kraj vremenske linije i tu se upisuje ukupno vreme.
	Sat	Označava neko vremensko ograničenje ili kašnjenje.
	Ponovna obrada	Ovaj simbol ukazuje da je potrebna ponovna obrada

Proces mapiranja podrazumeva 3 faze: početno stanje, buduća stanja i akcioni plani (Bicheno & Holweg, 2009). Može se primetiti da je kod druge faze upotrebljena množina, a to je iz razloga što postoji više mogućih budućih (željenih) stanja i ključna uloga i odgovornost menadžera se ogleda u sposobnosti izbora najpovoljnijeg budućeg stanja kome preduzeće treba da teži. A kada se izabere jedno željeno stanje kome se teži, onda se pravi akcioni plan za implementaciju predloženih promena i unapređenja, a onda se proces ponavlja kako bi se prikupili novi podaci i stvorio prostor za nova unapređenja. Jer kao što je već nekoliko puta pomenuto, *lean* podrazumeva kontinuirano unapređenje i nema kraja implementaciji novih ideja. Mapiranje toka vrednosti se mora sprovesti tako što se svi potrebni podaci prikupljaju u samom toku vrednosti, posmatranjem, beleženjem informacija, pregledanjem prateće dokumentacije, ručnim merenjem vremena i slično.

Podaci koje je neophodno prikupiti se uglavnom odnose na vreme proizvodnje, pripremno-završno vreme, vreme u radu i vreme u otkazu za svaku mašinu, broj radnika, efektivni kapacitet, procenat otpada, veličina i kapacitet ambalaže za pakovanje, zalihe, itd. Na slici 7 je prikazana jedan prost primer mape toka vrednosti. Ono što je uvek potrebno imati na umu jeste da se u ovom slučaju prikupljaju realni podaci, a ne preuzimaju se podaci koji su zapisani u procedurama, tehnološkim postupcima, uputstvima za proizvodnju i drugoj tehničko-tehnološkoj i upravljačkoj dokumentaciji. Tok informacija – od preduzeća ka dobavljačima i kupcima, kao i između procesa unutar toka vrednosti i tok materijala moraju biti dobro identifikovani i obeleženi tokom mapiranja.



Slika 7. Mapa toka vrednosti – opšti primer

Početni koraci mapiranja toka podrazumevaju označavanje kupaca, dobavljača i mesta odakle se upravlja proizvodnjom. Zatim se kupcu pridružuju zahtevi na mesečnom i dnevnom nivou, a nakon toga se računaju količine dnevne proizvodnje i potrebe za kontejnerima. Dalje se dodaju procesi u nizu, sa leve i desne strane kojima se pridružuju tabele za unos podataka o procesu kao i vremenska linija za beleženje u kojim tačkama se stvara nova vrednost, a u kojima ne. Nakon toga se pridružuju obeležja za tokove informacija, uključujući način i frekvenciju komunikacije. Zatim se definišu atributi koji opisuju procese i upisuju se u tabele za podatke.

U narednim koracima se obeležavaju lokacije zaliha i njihovog nivoa po proizvodnoj jedinici, kao i pridruživanje pravila za preuzimanje zaliha (*FIFO*, *PULL*, *PUSH*), a zatim se dodaju ostale informacije koje mogu biti od koristi za sistem. Završni koraci podrazumevaju unos podataka o radnim satima, računa se vreme trajanja procesa i beleži se na vremenskoj liniji. Kako bi se kreiralo buduće stanje toka vrednosti, neophodno je poznavanje *lean* principa i alata, kao i razumna očekivanja po pitanju uspeha.

Grupa autora sa dva univerziteta i jednog tehnološkog instituta u Španiji je sprovela istraživanje u 6 preduzaća koja su počela sa redizajnom svojih proizvodnih sistema u skladu sa *lean* filozofijom koristeći mapiranje toka vrednosti i došli su do zaključka da nijedno preduzeće nije iskoristilo potpune potencijale konceptata i tehnika povezanih sa *lean* filozofijom, a razlozi za to su kako tehničke prirode tako i veliki nedostatak znanja iz ove oblasti kod timova koji učestvuju u implementaciji (Lasa et al., 2009). Oni zastupaju stav da mapiranje toka vrednosti ima izuzetno veliki potencijal da unapredi produktivnost sistema, a argumenti koji idu u prilog tom stavu su sledeći:

- Mapiranje toka vrednosti karakteriše jednostavnost i objektivnost – analiza početnog stanja je zasnovana na prikupljanju i obradi numeričkih podataka i upotrebi grafičkog interfejsa kako bi se lakše uočile veze između tokova materijala i informacija,
- Za svaku grupu proizvoda je obezbeđen sistemski prilaz koji odslikava sve neefikasnosti sistema,
- Obezbeđenje zajedničkog jezika za ceo tim koji učestvuje i unifikacija *lean* konceptata i tehnika u jedinstven sistem i
- Mapiranje toka vrednosti kasnije postaje polazna tačka budućeg strateškog plana unapređenja.

Mapiranje toka vrednosti ne doprinosi samo skraćanju vremena koje se postiže redukcijom i eliminacijom gubitaka, nego učestvuje u povećanju efektivnosti i efikasnosti unapređujući metode rada i organizaciju posla (Edtmayr, 2011). Povećanje produktivnosti u definisanom

vremenskom okviru (smena, dan, nedelja), između ostalih stvari, uzrokuje povećanje sveukupne dodatne vrednosti. Skraćenje vremena trajanja celokupnog procesa u okviru toka vrednosti rezultuje povećanjem kvaliteta i kvantiteta proizvoda na izlazu i samim tim doprinosi većoj produktivnosti, jer je produktivnost kvantitativni izraz koji omogućava razmatranje koliko dobro su proizvodni faktori upotrebljeni i ona se kategorizuje u skladu sa individualnim proizvodnim faktorima (produktivnost mašine, produktivnost radnika). Produktivnost se računa prostim deljenjem izlaza iz procesa sa onim što je u proces uloženo. S jedne strane, produktivnost se povećava povećanjem efektivnosti kroz eliminaciju aktivnosti koje su pogrešne i potenciranjem izvršavanja dobrih aktivnosti, a sa druge strane povećanjem efikasnosti kroz precizne ocene performansi i dobrim uravnoteženjem i iskorišćenjem kapaciteta.

Sa druge strane postoje i tvrdnje koje ukazuju na negativne strane mapiranja toka vrednosti, pa tako Rivera ukazuje na činjenicu da je mapiranje toka vrednosti ipak statički alat i ne može adekvatno opisati dinamičko ponašanje sistema i ne može obezbediti adekvatno upravljanje kompleksnošću i neizvesnostima (Rivera, 2006). U prilog ovoj konstataciji ide činjenica da se snimanje stanja za potrebe kreiranja određene mape toka vrednosti obavlja na određeni dan i onda se pristupa analizi i projektovanju nekog budućeg, željenog stanja, a u međuvremenu se neki parametri sistema mogu promeniti. Ali svakako dobra strana je to da se prilikom kreiranja mape toka vrednosti obično pokaže da se proizvod u procesu zadržava mnogo duže nego što je to zaista potrebno. Veoma važan deo postupka mapiranja toka vrednosti je i dokumentovanje veza između proizvodnog procesa i elemenata upravljanja ovim procesima, kao što su terminsko planiranje i upravljanje informacijama u preduzeću. Upravo mapiranje toka vrednosti, pored naglaska na vremensku dimenziju, kreira nomenklaturu i zajednički jezik za komunikaciju između svih elemenata procesa (Rivera & Chen, 2006).

## 2.3 RAČUNOVODSTVO TROŠKOVA I SISTEMI UPRAVLJAČKOG RAČUNOVODSTVA

S obzirom da tema disertacije nije ekonomska, nego inženjerska, ovo poglavlje će biti obrađeno na nivou osnovne analize pojmova u oblasti računovodstva i finansijskog poslovanja i biće ukratko predstavljeni sistemi računovodstva i obračuna troškova koji su interesantni sa aspekta osnovne teme.

Ekonomsko-finansijska funkcija i računovodstvo kao jedan deo ove funkcije ima veoma značajnu ulogu u preduzeću. Sa ovom funkcijom apsolutno sve ostale funkcije preduzeća moraju da sarađuju, bilo da treba nešto da se nabavi (da li ima dovoljno novca i koji način plaćanja se preporučuje), bilo da treba da se urade neke marketinške aktivnosti, bilo da treba da se uvede novi proizvod. Tačnije, sve funkcije u preduzeću se obraćaju ekonomsko-finansijskoj funkciji kako bi dobili informacije o raspoloživim novčanim sredstvima. S druge strane, kada se govori i o novčanim prilivima u preduzeću, opet sve mora da se obavlja preko ove funkcije. Na kraju, kao najvažnije, menadžment preduzeća se obraća ovoj funkciji kako bi dobio informacije o finansijskim parametrima koji su neophodni da bi se ocenilo dosadašnje poslovanje a i definisali planovi za naredni period. Tako da sistem pružanja informacija iz ekonomsko-finansijske funkcije mora biti u skladu sa potrebama svih ostalih funkcija u preduzeću, ali i obavezno pratiti sve promene u načinu poslovanja koje se dešavaju i usklađivati način obrade finansijskih informacija.

Da bi se govorilo o računovodstvu troškova i sistemima upravljačkog računovodstva, najpre je potrebno objasniti sam pojam troškova i njihovo značenje. Troškovi predstavljaju vrednosno izraženu potrošnju proizvodnih faktora koji su neophodni za stvaranje i prodaju poslovnih učinaka, kao i za održavanje proizvodne sposobnosti (Haberstockn, 2002). A sam proces definisanja pojma troškova zavisi od svrhe njihovog obračuna i da li i u kojoj meri se potrošnja dobara tretira kao trošak u proizvodnji poslovnih učinaka (Schmalenbach & Bauer, 1963). U svakom slučaju, tri su ključna elementa sadržana u skoro svakoj definiciji a to su: (1) trošenje sredstava, (2) vrednosno iskazivanje trošenja sredstava i (3) svako trošenje sredstava ima za cilj ostvarenje nekog učinka. Jedan od najvećih problema kada se govori o troškovima jeste utvrđivanje iznosa i vrste troškova koji mogu direktno da se obračunaju na nosioca troškova i to su direktni troškovi, dok postoje i troškovi koji ne mogu direktno da se obračunaju i vežu za jedan nosioc i ti troškovi su opšti ili režijski (Ćirić, 2013).

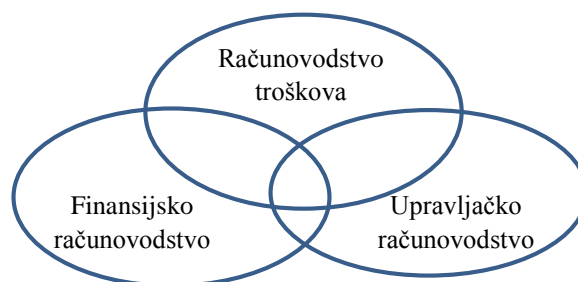
Kao osnov za dobar i uspešan proces donošenja odluka, kao i upravljanje, posebno u savremenim uslovima poslovanja gde su promene izuzetno učestale, preduzeća moraju da

imaju dobar informacijski sistem koji će pružati informacije o svim funkcijama u preduzeću. A jedan od najvažnijih informacijskih sistema za preduzeće, koji ima svoj cilj, funkciju i metodologiju obrade podataka je računovodstveni sistem. Računovodstvene informacije su dokumentovane i iz njih je isključena svaka intuicija, a su onda one osnova za odlučivanje u domenu materijalno-finansijskog poslovanja (Ćirić, 2013). Američko računovodstveno udruženje (*American Accounting Association*) definiše računovodstvo kao proces identifikovanja, merenja i saopštavanja ekonomskih informacija donosiocima poslovnih odluka u preduzeću i funkcija računovodstva podrazumeva sledeće aktivnosti:

1. Prikupljanje i beleženje podataka,
2. Klasifikacija podataka,
3. Obrada podataka, uključujući obračun i sumiranje,
4. Čuvanje podataka i
5. Izveštavanje o rezultatima.

Računovodstveni sistemi u preduzećima su postavljeni tako da zadovoljavaju potrebe eksternih interesenata (Ćirić, 2013), ali ne sadrži jasne i svima razumljive informacije koje bi se mogle iskoristiti za donošenje poslovnih odluka i kreiranje planova za naredni period. Pre konačnog oblikovanja jednog računovodstvenog sistema, treba precizno definisati šta se očekuje da taj sistem pruži preduzeću i ostalim zainteresovanim stranama, zatim napraviti takvu strukturu sistema da on pruža informacije o troškovima ali grupisanim prema različitim kriterijumima (profitabilnost pojedinih proizvoda, tržišni segment, grupe proizvoda i slično). Računovodstvo ima zadatak da prikaže imovinski, finansijski i prinosni položaj preduzeća kroz obuhvat svih tokova, odnosa i stanja u poslovanju preduzeća (Stevanović, 1997). Upravljanje troškovima je starije od računovodstva troškova i sve do 50-ih godina imali su odvojene puteve razvoja, a nakon toga računovodstvo troškova je postalo glavni izvor informacija za upravljanje troškovima.

Sve računovodstvene informacije u preduzeću se mogu razvrstati u operativne, finansijsko-računovodstvene i upravljačko-računovodstvene (Stevanović i dr., 2006). Operativne informacije se dobijaju iz analitičkih knjigovodstvenih evidencija i predstavljaju osnovu za finansijsko i upravljačko računovodstvo. U skladu sa tipom računovodstvenih informacija koje pružaju, na sledećoj slici (Rodić i Rakovački-Tubić, 2007; Ćirić, 2013) je predstavljen međusobni odnos između računovodstva troškova, upravljačkog i finansijskog računovodstva, gde se vidi da računovodstvo troškova predstavlja presečnu tačku između druga dva.



Slika 8. Odnos računovodstva troškova, finansijskog i upravljačkog računovodstva

Informacije koje obezbeđuje računovodstvo troškova, kroz izveštaje upravljačkog i finansijskog računovodstva predstavljaju izuzetnu podršku upravljačkim aktivnostima usmerenim na uvećanje vrednosti i prinosnih potencijala preduzeća. Savremeni prilazi planiranju i upravljanju proizvodnjom zahtevaju i određene tehničke promene u preduzeću koje bi podržale samu implementaciju i primenu novih sistema. Istraživanja su pokazala da se kod većine preduzeća računovodstvo pokazalo kao najveći hendikep za implementaciju savremenih prilaza proizvodnji i osnovna je prepreka za ostvarivanje konkurentske prednosti (Bruggeman & Slagmulder, 1995). Oni ističu da bi dobar računovodstveno-informacioni sistem trebao prikupljati podatke povezane sa merenjem performansi, klasifikovati prikupljene podatke i obezbediti menadžerima i donosiocima odluka izveštaje koji će im pomoći za planiranje, upravljanje i evaluaciju proizvodnih aktivnosti. Kada se menja proizvodna filozofija i tehnologija, te promene treba da prati i računovodstveni sistem i sistem obračuna troškova. Tako i mnoga preduzeća nisu uspela da implementiraju *lean* proizvodnju iz razloga što tradicionalni sistemi računovodstva i obračuna troškova ne podržavaju *lean* principe i ne pružaju adekvatne informacije u realnom vremenu (Kaplan 1983, 1988; Womack & Jones, 2007; Cooper & Kaplan, 1988; Maskell & Kennedy, 2007; Baggaley & Maskell, 2003a; 2003b; Sobczyk & Koch, 2005, 2008; Ward & Graves, 2004; Huntzinger, 2007; Whicker & O'Brien, 2007).

Implementacija *lean* proizvodnje je sa sobom donela pitanje da li je novi sistem računovodstva i obračuna troškova potreban za preduzeća koja usvajaju *lean* principe i praksu, a isto tako i zaključak da ne postoji jedinstven odgovor koji sistem računovodstva i obračuna troškova primeniti u kojoj situaciji, ali bi svakako bilo poželjno da sistem obračuna troškova prati promene u proizvodnji kako bi ih što bolje podržao. Ono što razlikuje većinu sistema računovodstva i obračuna troškova jeste upravo način na koji se raspoređuju opšti (režijski) troškovi, a od toga posle zavise i troškovi pojedinačnog proizvoda, formiranje cene kao i kapitalna ulaganja.

### 2.3.1 Tradicionalni sistem obračuna troškova

Tradicionalni sistem računovodstva je razvijen da podrži masovnu proizvodnju, orijentisan je na proizvod, organizovan po departmanima i ne prave razliku između direktnih i indirektnih troškova. Masovnu proizvodnju karakterišu visoka fiksna ulaganja u fabriku i tehnološke sisteme, uključujući proizvodnju velikih količina uniformnih proizvoda i ovi fiksni troškovi se raspoređuju na obim proizvedenih jedinica (Rao & Bargerstck, 2011). Masovna proizvodnja je podrazumevala i velike proizvodne sisteme sa velikim skladištima koja su većinom zauzeta zastarelom robom, visoke troškove držanja tih zaliha, velike proizvodne serije, te vrlo česte zastoje između prijema narudžbina i same isporuke proizvoda. Većina operacija se izvodila manuelno i količina proizvoda koja će na kraju biti proizvedena je zavisila od broja radnika angažovanih u proizvodnji. Tradicionalno računovodstvo ima svoju istoriju, ali su se desile značajne promene u industriji od momenta kada je ovaj sistem razvijen do početka 90-ih godina (Atrill & McLaney, 1997):

- promene od radno - intenzivne proizvodnje sa izraženim direktnim troškovima radne snage do kapitalno - intenzivne proizvodnje,
- promene od niskog učešća opštih troškova u ukupnim troškovima do velikog porasta ovih troškova u odnosu na direktne troškove i
- promene od relativno nekonkurentnog do visoko konkurentnog međunarodnog tržišta.

Velika pažnja se posvećuje direktnim troškovima koji u savremenim uslovima poslovanja ipak zauzimaju manji udeo u ukupnim troškovima (Antić i Georgijevski, 2010). Naime, u vreme masovne proizvodnje 50% ukupnih troškova su činili troškovi direktnog rada, 35% materijal i 15% opšti troškovi i pri ovakvoj raspodeli troškova, tradicionalne metode obračuna troškova su davale dobre rezultate. Taj odnos danas značajno promenjen u korist opštih troškova, te oko 60% troškova čine opšti, 30% materijal i svega 10% direktni rad. U literaturi se još mogu pronaći neki drugi odnosi kada su u pitanju ove kategorije troškova, u zavisnosti od vrste delatnosti, ali su svi približno isti i slažu se u jednom da se ranije većina aktivnosti u okviru procesa realizovala ručno, tako da su troškovi radne snage bili izuzetno visoki, a obim proizvodnje je direktno bio zavisao od broja zaposlenih. Međutim, vremenom su mašine sve više počele da zamenjuju ljude, tako da je došlo do narušavanja odnosa između kategorija troškova.

Kaplan je još 1983. godine identifikovao da je tradicionalni sistem računovodstva zasnovan na pretpostavkama dugog proizvodnog ciklusa standardnih proizvoda, sa nepromenjenim karakteristikama i specifikacijama i takav sistem ne može biti primenljiv za savremene uslove poslovanja i novo poslovno okruženje, koje podrazumeva i veliki uticaj kupca na



formiranje cene proizvoda (Kaplan, 1983). Ovaj sistem nesporno obezbeđuje detaljno praćenje svake transakcije u skladu sa tokovima procesa u različitim fazama proizvodnje i ovo je odličan sistem kada postoji jedan proizvod koji se prati. Za tradicionalni sistem obračuna troškova, najvažniji trošak je direktni trošak radne snage, dok su ostali troškovi raspoređeni kao procenti troškova radne snage (Arbulo-Lopez & Fortuny-Santos, 2010). Oni ističu da je tradicionalno računovodstvo neprijatelj broj jedan za produktivnosti i navode da su principi *lean* proizvodnje sasvim drugačiji jer su preduzeća orijentisana konkurentskom i promenljivom okruženju, gde se moraju vrlo brzo prilagođavati potrebama klijenata, bez velikog zarobljavanja novca u zalihe koje posle mogu postati zastarele i neupotrebljive i troškovi radne snage tada čine mali procenat u odnosu na ukupne troškove. Takođe, pretpostavka ovog sistema je i to da broj radnih sati radnika angažovanih u proizvodnji velikih količina proizvoda treba tačno da odražava koliko je opštih troškova pridruženo svakom pojedinačnom proizvodu (Li et al., 2012). Kada opšti troškovi potrošeni na te proizvode nisu u skladu sa brojem radnih sati radnika, onda se dešava da informacije o troškovima nisu ispravne i narušavaju dalje aktivnosti koje koriste ove informacije.

Whicker i O'Brien navode da je ovaj problem takođe izražen i kod upravljanja čitavim lancem snabdevanja, jer sistem obračuna troškova nije u skladu i ne može adekvatno da podrži sve aktivnosti koje se odvijaju u lancu snabdevanja (ne obuhvata druge subjekte koji učestvuju u stvaranju troškova), a dobro upravljanje troškovima duž celog lanca je ključni element za postizanje konkurentske prednosti (Whicker & O'Brien, 2007). I zaključak je opet da ovo može dovesti do pogrešnih odluka menadžmenta. Oni su pokušali da prevaziđu ovaj problem tako što su vizuelizovali vreme i troškove duž lanca snabdevanja, vođeni idejom da se konkurentska prednost može postići koristeći vreme i njegovu vezu sa novcem. Kao ilustraciju za loš obračun troškova u okviru tradicionalnog sistema računovodstva, Chiarini navodi primer da su recimo troškovi proizvoda koji se već 10 godina proizvodi i troškovi nekog novog proizvoda koji ima slično vreme trajanja ciklusa proizvodnje jednaki (Chiarini, 2012). Međutim očigledno je da to u praksi nije tako i da u ovom slučaju nisu uračunati troškovi razvoja novog proizvoda, njegova promocija, troškovi uvođenja na tržište i slično.

Rivera takođe potvrđuje da je ovaj sistem potpuno u suprotnosti sa svim onim što *lean* filozofija propagira i navodi da je ovaj sistem baziran na studijama vremena i kretanja i izlazi su vreme trajanja procesa, koliko je materijala utrošeno i koja je cena materijala (Rivera, 2006). Prethodno napravljeni planovi se porede sa onim što je ostvareno i osnovna menadžerska pitanja se odnose na to zašto je došlo do odstupanja, ko je odgovoran, šta je potrebno uraditi i slično. Većina autora se slaže da izveštaji koji se dobijaju u tradicionalnom računovodstvu dosta kasne i podaci iz tih izveštaja se ne mogu koristiti u realnom vremenu,

što je jedan od važnih preduslova za implementaciju *lean* proizvodnje, kao i da se u ovom sistemu kriju gubici u okviru raspoređivanja opštih troškova. U *lean* okruženju, operativna i procesna kontrola zamenjuju menadžersku i finansijsku kontrolu na nivou preduzeća (Rao & Bargerstck, 2011). Cilj implementacije *lean* prilaza je upravo prevencija nastajanja odstupanja a ne korekcija odstupanja koja su već nastala. Tradicionalni sistem takođe detaljno beleži svaku transakciju koja prati tok proizvodnje kroz različite faze i ovo je jednostavno kada je u pitanju jedan proizvod, ali kada postoji veliki broj različitih varijanti proizvoda kao što je slučaj u *lean* okruženju, onda ovi izveštaji nisu korisni. U tom slučaju postoji veliki broj izveštaja koji ne samo da mogu biti teški za analizu nego mogu da daju i neke pogrešne informacije. Takođe, tradicionalno računovodstvo pruža informacije koliko je novca potrošeno, ali ne i detalje koji ukazuju kako je taj novac tačno potrošen.

Sistemi projektovani da vrednuju zalihe za potrebe finansijskih izveštaja ne daju menadžerima tačne i u realnom vremenu informacije koje oni trebaju da unaprede operativnu efikasnost i izmere troškove proizvoda, te stoga Kaplan navodi da novi sistem obračuna troškova mora da zadovolji tri različite funkcije (Kaplan, 1988):

1. Vrednovanje zaliha za finansijske i poreske izveštaje, raspoređujući periodične proizvodne troškove između prodatih proizvoda i proizvoda na zalihama,
2. Operativna kontrola i obezbeđenje povratne informacije od menadžera proizvodnje o utrošenim resursima (radna snaga, materijal, energija, opšti troškovi) i
3. Merenje troškova pojedinačnog proizvoda.

Kristofer je izrazio povećano nezadovoljstvo kada je u pitanju primena tradicionalnih metoda obračuna troškova i indentifikovao je nekoliko ključnih slabosti (Christopher, 1998). Pre svega postoji generalno ignorisanje stvarnih troškova iako preduzeća posluju sa različitim kupcima, putem različitih kanala prodaje i zauzimaju različite tržišne segmente. Menadžment preduzeća raspolaže sa agregatnim informacijama, odnosno troškovi su zarobljeni na veoma visokom nivou agregacije. I dalje postoji problem sa potpunom raspodelom, odnosno alokacijom troškova, koja u većini preduzeća i dalje suvereno vlada. I na kraju, ono što škodi savremenim prilazima računovodstva su tradicionalni sistemi organizacije preduzeća, tj. funkcionalna orijentacija sistema računovodstva i obračuna troškova.

Upravljačko računovodstvo i sistem obračuna troškova koji bi mogao da podrži proizvodnu izvrsnost bi trebao da bude prilagođen na način da ima sledeće karakteristike (Jenson et al., 1996):

- Integracija poslovne i proizvodne kulture,
- Prepoznavanje *lean* proizvodnje i njenog uticaja na upravljačko računovodstvo,
- Naglasak na kontinuirano unapređenje sistema računovodstva,
- Težnja da se eliminišu gubici u procesu obračuna i upravljanja troškovima i
- Podsticanje proaktivne upravljačke kulture.

Istraživanje u okviru kog su identifikovane prethodno navedene karakteristike je dalo vredan pogled na promene koje računovodstveni sistem treba da pretrpi sa ciljem da podrži *lean* proizvodnju i sprovedeno u različitim industrijama, ali njegovo ograničenje je što su ovi predlozi dati u nekom generalnom smislu, bez detaljnih smernica za različite tipove odluka koje je potrebno doneti u *lean* okruženju. Schnoebelen se takođe bavio istraživanjem u oblasti upravljanja troškova i definisao je ciljeve koje bi jedan napredni sistem upravljanja troškovima trebao da zadovolji kako bi bio u skladu sa savremenim strategijama koje se primenjuju u proizvodnji i poslovanju uopšte (Schnoebelen, 1993):

- bolje razumevanje strukture troškova i njihove veze sa proizvodima, procesima i poslovnim aktivnostima,
- unapređenje procesa obračuna troškova kako bi se povećala profitabilnost,
- identifikacija šansi i mogućnosti za smanjenje troškova ili njihovo izbegavanje,
- unapređenje procesa planiranja troškova i simulacija različitih scenarija,
- podrška upravljanju informacijama o troškovima potrebnih kako finansijskim tako i nefinansijskim funkcijama u preduzeću, uključujući razvoj proizvoda, nabavku i marketing,
- unapređenje upotrebe proizvodnih i administrativnih resursa,
- unapređenje performansi procesa izveštavanja,
- obezbeđenje fundamentalnog okvira za računovodstvo troškova i
- povećanje efikasnosti i pouzdanosti informacija kao i unapređenje pristupa tim informacijama u realnom vremenu.

S ciljem da se izbegnu konflikti prilikom implementacije *lean* proizvodnje i filozofije uopšte, preduzeća počinju da uvode drugačije sisteme računovodstva kao što su računovodstvo zasnovano na aktivnostima i *lean* računovodstvo koji su usmereni na rešavanje problema raspoređivanja opštih troškova. Savremeni sistemi obračuna nemaju za cilj samo da na pravi način rasporede opšte troškove, nego i da identifikuju područja u kojima se pojavljuju gubici.

### 2.3.2 Obračun troškova na osnovu aktivnosti

Kao uvod u ovo potpoglavlje, biće navedeno nekoliko definicija koje se tiču osnovnih elemenata na kojima je obračun troškova na osnovu aktivnosti zasnovan. Definicije su preuzete iz rečnika pojmova koji se nalazi u prilogu knjige Džejmsa Brimsona na temu obračuna troškova zasnovanog na aktivnostima (Brimson, 1991).

Aktivnost predstavlja kombinaciju ljudi, tehnologije, sirovina, metoda i okruženja sa ciljem da proizvede određeni proizvod ili uslugu, dok analiza aktivnosti predstavlja proces analize iskorišćenog vremena sa ciljem da se odrede troškovi i performanse aktivnosti. Aktivnost opisuje način na koji preduzeća angažuju novčane i vremenske resurse kako bi postigli ciljeve. Računovodstvo aktivnosti (eng. *Activity accounting*) predstavlja skup informacija o finansijskim i operativnim performansama značajnih aktivnosti u preduzeću. Indirektni troškovi su oni troškovi koji nisu direktno povezani sa procesom odnosno proizvodom ili troškovi koji nemaju direktnu povezanost i uzročnost sa proizvodima koji se proizvode. Ovi troškovi ne uključuju usluge funkcija u preduzeću koja su na neki način podrška proizvodnji, kao što je računovodstvo, sistem obezbeđenja kvaliteta i slično. U indirektno troškove recimo se svrstavaju troškovi nabavke. Sistem obračuna troškova je sistem u preduzeću koji obezbeđuje da se pre svega prikupe podaci o troškovima a zatim da se i dodele krajnjem nosiocu troška (proizvod ili usluga).

Porter je međutim posmatrao aktivnost sa strateškog aspekta, a ne samo sa svrhom merenja troškova (Porter, 1985). Uveo je pojam lanac vrednosti kao osnovni alat za sistematično izvršavanje svih aktivnosti koje se odvijaju u jednom preduzeću i lanac vrednosti ističe strateški značajne aktivnosti sa ciljem da se razumeju troškovi i identifikuju izvori konkurentske prednosti. On je sve aktivnosti svrstao u 9 generičkih kategorija podeljenih na primarne, odnosno osnovne aktivnosti i aktivnosti podrške. Upravo određivanjem vrednosti aktivnosti, identifikuje se konkurentska prednost preduzeća na način što se poredi sa vrednošću te iste aktivnosti kod konkurenta.

Harrington polazi od stanovišta da se svi poslovni procesi u preduzeću mogu podeliti u podprocese koji se sastoje od logički povezanih aktivnosti koje učestvuju u realizaciji poslovnog procesa (Harrington, 1991). Aktivnosti moraju biti tako definisane da su merljive sa aspekta troškova i vremena. Međutim, Harrington daje prednost procesu, a aktivnosti služe samo za unapređenje procesa, dok Porter posmatra aktivnost sa strateškog aspekta a Brimson sa aspekta troškova.

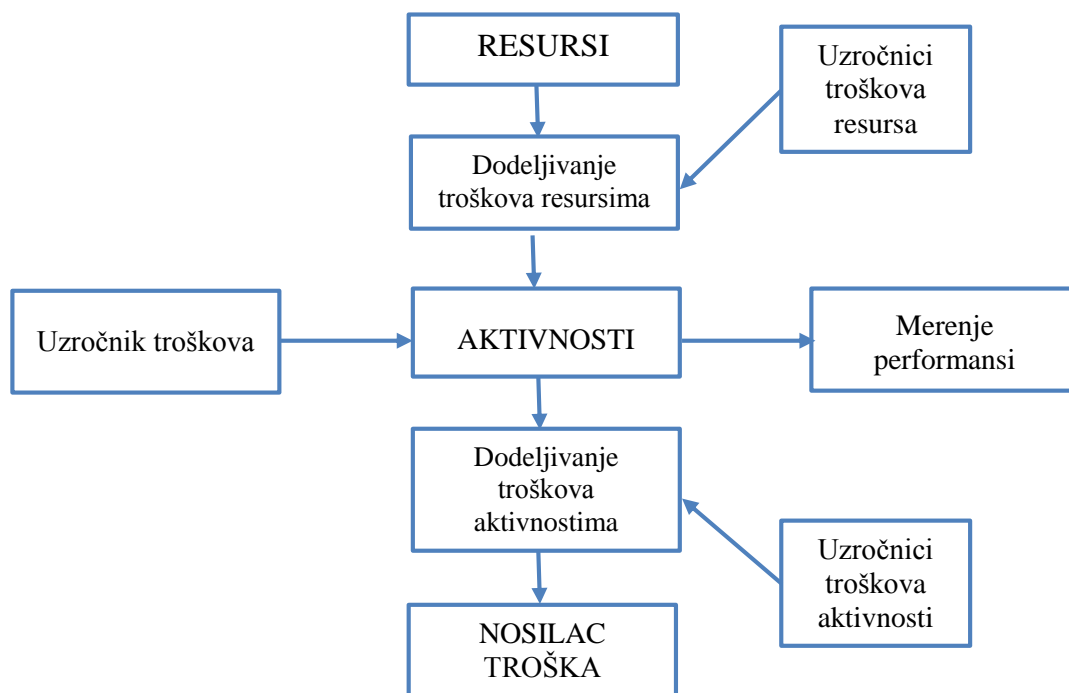
Obračun troškova na osnovu aktivnosti (eng. *Activity-based costing*) polazi od stanovišta da je organizacija ustvari sistem koji se sastoji od aktivnosti, aktivnosti zahtevaju resurse, a resursi stvaraju troškove (Borjesson, 1994). Borjesson ističe da je najvažnije prikupiti relevantne informacije o aktivnostima, resursima koji su im pridruženi, troškovima, načinu kako je aktivnost sprovedena, kako su resursi korišćeni i zašto su trebali za tu aktivnost kao i njihove odgovarajuće uzročnike troškova. Od sredine 80-ih godina, troškovi za podršku proizvodnje, inženjering i razvoj proizvoda, marketing i prodaju su postali najbrže rastući troškovi u mnogim preduzećima. Ali, troškovi proizvoda dobijeni primenom tradicionalnog sistema računovodstva obično ne povezuje dobro proizvod sa ukupnom količinom resursa utrošenih u njegovu proizvodnju, verovatno iz razloga što su ovi sistemi obračuna troškova dizajnirani da zadovolje finansijske zahteve sa aspekta vrednovanja zaliha (Cooper & Kaplan, 1988b). Maskell ističe i to da ove pogrešne informacije o troškovima proizvoda mogu da dovedu menadžere u situaciju da donesu pogrešnu odluku u smislu da favorizuju proizvode koji su kompleksni i neprofitabilni (Maskell, 1993). A dobro prikupljene informacije mogu da se koriste za odlučivanje u području konkurentnosti proizvodnog programa, efikasnosti aktivnosti, kao i da pruže pomoć pri upravljanju velikim brojem proizvoda i usluga, promenljivim zahtevima kupaca i određivanju njihovog uticaja na profitabilnost. Najvažnije je imati na umu da trošak mora biti prvo napravljen kako bi mogao biti izmeren. A prikupljanje podataka o troškovim veoma zavisi od toga koliko su dobro identifikovani njegovi uzročnici.

Cooper i Kaplan su razvili računovodstvo zasnovano na aktivnostima vođeni idejom da sve aktivnosti u preduzeću postoje kako bi podržale proizvodnju i isporuku proizvoda i usluga (Cooper & Kaplan, 1988a), mada su oni istakli da je ovo više alat za izbor određene strategije, nego formalni računovodstveni sistem (Cooper & Kaplan, 1988b). Tako su troškovi, uključujući i opšte, pridruženi svakoj aktivnosti koja učestvuje u proizvodnji proizvoda. Opšti troškovi se raspoređuju tačno u skladu sa tim koliko ih je taj resurs, za koga se vezuju, koristio i nisu jedinstveno povezani sa obimom proizvodnje. Jednom kada se identifikuju troškovi aktivnosti oni se pridružuju svakom proizvodu u onoj meri koliko je ta aktivnost učestvovala u proizvodnji tog proizvoda. Ovaj sistem omogućava da se prikupe podaci o operativnim troškovima, a takođe da se identifikuje koji proizvodi učestvuju u povećanju profitabilnosti, a koji doprinose povećanju gubitaka (Chiarini, 2012) i nastao je upravo kao rezultat napora računovodstvene teorije i prakse da odgovori informacionim zahtevima menadžmenta.

Salah i Zaki navode da ovaj sistem obračuna troškova identifikuje područja gde su opšti troškovi previsoki i tako usmerava pažnju na pronalaženje načina da se ti troškovi smanje i tako je stekao reputaciju vrlo preciznog sistema za procenu i obračun troškova (Salah &

Zaki, 2013). Cilj ovog sistema obračuna troškova je da poveća transparentnost informacija o troškovima i ovaj sistem meri vreme i kvalitet izvođenja procesa, pa je dobra osnova za primenu *lean*-a (Jelić i dr., 2014).

Prvobitno, model alokacije troškova zasnovan na aktivnostima se nazivao model dekompozicije (Antić i Georgijevski, 2010). Ovaj sistem ne pruža ni adekvatne informacije koje bi mogle poslužiti za interna unapređenja, jer informacije nisu sistematizovane na takav način da bi se mogle analizirati performanse aktivnosti. Kao nadogradnju ovog sistema, međunarodni konzorcijum za naprednu proizvodnju (CAM-I) je razvio dvodimenzionalni model za definisanje kritičnih tačaka u poslovanju i modelovanje efektivnih strategija i rešenja koji rešavaju pitanja troškova i upravljanja resursima (Raffish & Turney, 1991). Obračun troškova na osnovu aktivnosti pretpostavlja da aktivnosti prouzrokuju trošenje resursa i da nosioci troška kreiraju potrebu za aktivnostima. Oni su razvili takozvani prilaz dodele troškova i na slici 9 je prikazana njegova struktura:



Slika 9. Redosled dodeljivanja troškova nosiocima troška

Upravljanje troškovima zasnovano na aktivnostima omogućava identifikaciju aktivnosti koje se odvijaju u procesu, pridružene resurse (rashode) tim aktivnostima, kao i tok troškova od aktivnosti ka nosiocu troška. Uzročnici troškova resursa kao što su materijali, energija, radna snaga i slično prenose troškove na aktivnosti. Uzročnici troškova aktivnosti kao što je broj proizvedenih delova, prebacuju potrošnju aktivnosti na nosioce troška. A nosioci troška su proizvodi, usluge, kanali distribucije i slično.

Vertikalna dimenzija ovog modela pruža informacije o visini troškova pojedinih aktivnosti, dok dimenzija troškova, spojena sa procesnim prilazom, daje fokus na to zašto i koliko dobro su aktivnosti sprovedene (Grasso, 2005). Zahvaljujući procesnom prilazu, ovaj model može da prepozna da troškovi povezani sa nekom aktivnošću mogu da se prostiru na više departmana odnosno područja odgovornosti. Zahvaljujući prepoznavanju međuzavisnosti, ovaj model se više orijentiše na timsku odgovornost, nego na pojedinačne doprinose i izbegava naglasak na lokalnoj optimizaciji, što je veoma česta karakteristika tradicionalnih sistema.

Prilikom projektovanja računovodstva zasnovanog na aktivnostima, prvi korak je prikupljanje tačnih informacija o direktnim troškovima radne snage i materijala i tom prilikom potrebno je fokusirati se na skuplje resurse, naglasiti resurse čija potrošnja značajno varira u zavisnosti od tipa proizvoda i usmeriti pažnju na proizvode čiji okviri potražnje nisu u korelaciji sa tradicionalnom alokacijom troškova materijala, radne snage, vremena obrade (Cooper & Kaplan, 1988b):

Oni takođe ukazuju i na one troškove koji bi trebali biti isključeni iz ovog sistema, a to su:

- troškovi uravnoteženog opterećenja kapaciteta, što podrazumeva posmatranje godišnjih troškova tehnološkog sistema po jedinici proizvoda koji je projektovan na bazi punog iskorišćenja kapaciteta, i
- troškovi istraživanja i razvoja za potpuno nove proizvode i proizvodne linije i te troškove treba posmatrati kao troškove ulaganja u budućnost. Ovde treba biti oprezan kada su u pitanju aktivnosti istraživanja i razvoja usmerene na postojeće proizvode i te troškove svakako treba pridružiti proizvodima koje imaju koristi od konkretnog istraživanja.

Treba imati na umu da ovaj sistem računovodstva nije projektovan da omogućava automatsko donošenje odluka, nego je više usmeren na obezbeđivanje tačnih i preciznih podataka o troškovima aktivnosti.

Velmurugan je istakao da računovodstvo zasnovano na aktivnostima nije pronašlo širu primenu u praksi od njegove pojave osamdesetih godina prošlog veka, iz razloga što je suviše komplikovano prikupiti sve potrebne informacije i pratiti sve promene u aktivnostima (Velmurugan, 2010). On je zaključio da su zapravo administrativna i tehnička kompleksnost glavni razlog za neprihvatanje ovog modela računovodstva. Čim se nešto u nekoj aktivnosti promeni, moraju se menjati i svi podaci koji su vezani za tu aktivnost, a onda se moraju menjati i podaci o proizvodima za koje je ta aktivnost vezana.

Hughes je takođe potvrdio da su zahtevi za redizajniranjem sistema prikupljanja podataka, njihove obrade i manipulacije kao i zahtevan sistem izveštavanja bili osnovni razlozi za neprihvatanjem ovog sistema (Hughes, 2003). Benjamin ističe da je ovaj sistem obračuna troškova samo nastavak tradicionalnog sistema računovodstva i da je razlika u tome što opšte troškove raspoređuje na više mesta umesto na jedno (Benjamin et al., 2009). Waddell navodi da obračun troškova na osnovu aktivnosti nije najsajnije rešenje, uglavnom zato što je to sofisticiraniji način alokacije troškova, a alokacija troškova je u srcu problema tradicionalnog računovodstva (Waddell, 2010). Rešenje je upravo da se alokacija izbegne, a ne da se neki postojeći sistem alokacije troškova unapređuje.

Ovaj sistem je doveden u pitanje i zbog subjektivne procene zaposlenih o procentu vremena koje troše na izvršavanje određene aktivnosti, a sam princip prikupljanja podataka se zasniva na intervjuisanju i anketiranju zaposlenih (Antić i Gorgijevski, 2010). One ističu da je i korišćenje jedinstvenih osnova za alokaciju troškova takođe uočeni nedostatak iz razloga što se neka aktivnost može izvoditi na različite načine i trošiti različito vreme i resurse u zavisnosti od trenutnih uslova. Na primer aktivnost “isporuka proizvoda” zavisi od udaljenosti kupca, uslova isporuke i slično, a kao osnova za obračun troškova dodeljenih ovoj aktivnosti se uzima prosek, što opet narušava tačnost proračuna troškova svakog pojedinačnog proizvoda.

### 2.3.3 *Lean* računovodstvo - obračun troškova na osnovu toka vrednosti

Obračun troškova na osnovu vrednosti predstavlja deo *Lean* računovodstva. Ali na ovom mestu je potrebno pre svega napraviti razliku u terminologiji između *lean* računovodstva i računovodstva za *lean*. Naime *lean* računovodstvo teži da se minimalizuje broj transakcija kako bi se povećala efikasnost procesa i način dolaženja do informacija, dok računovodstvo za *lean* pokušava da unapredi proces donošenja odluka kako bi se podržale *lean* operacije, odnosno daje odgovor na pitanje koje informacije je potrebno obezbediti da bi se na najbolji mogući način podržao *lean* menadžment sistem i kako bi se troškovi proizvoda obračunali na najtačniji mogući način (Bicheno & Holweg, 2009; Grasso, 2005). Grasso je ovaj terminološki jaz prevazišao na način da je ove razlike zapravo definisao kao dve različite dimenzije *lean* računovodstva. U engleskom govornom području se ovaj termin označava kao *Lean accounting*, što u prevodu znači *lean* računovodstvo, ali se u većini radova to odnosi na obračun troškova koji je adekvatan za preduzeća koja su odlučila da implementiraju *lean* filozofiju. Tako da se u okviru ove disertacije ovaj termin stavlja u kontekst računovodstva za *lean*.



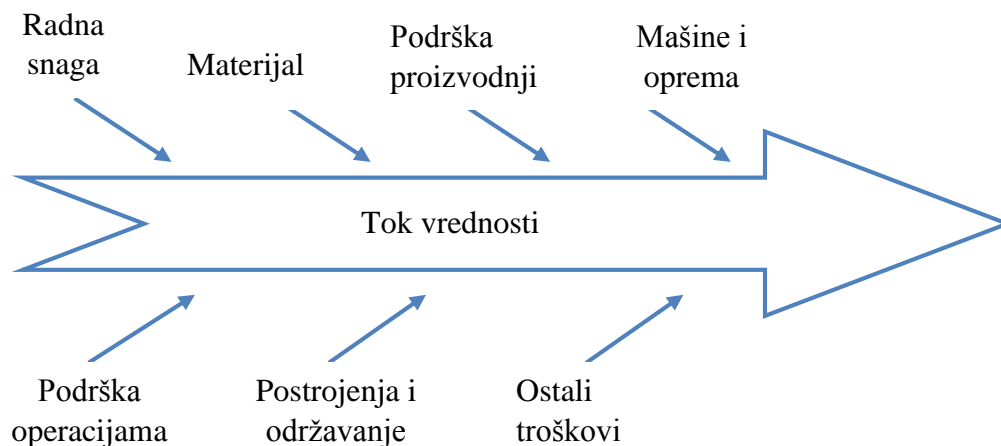
*Lean* računovodstvo je zasnovano na reinženjeringu poslovnih procesa koristeći alate mapiranja toka vrednosti i organizaciju preduzeća zasnovanu na toku vrednosti. Slično kao i računovodstvo zasnovano na aktivnostima, teži ka izbegavanju alokacije režijskih troškova. Posebno kada se govori o *lean* okruženju, veoma je teško rasporediti opšte troškove zbog nedostatka uniformnosti proizvoda.

Maskell ističe da *lean* računovodstvo povećava prodaju zato što pruža bolje informacije za proces donošenja odluka jer prepoznaje da je primarni cilj eliminacije gubitaka zapravo stvaranje dostupnih kapaciteta i (Makell, 2004):

- jasno identifikuje finansijske rezultate i uticaj *lean* unapređenja,
- štedi novac i smanjuje troškove i
- motiviše dugoročna *lean* unapređenja.

Obračun troškova na osnovu toka vrednosti (eng. *Value stream costing*) se pojavio kako bi obezbedio most između operativnog i finansijskog pogleda na *lean*, što omogućava jačanje transfera informacija od nivoa proizvodnje do nivoa menadžmenta (Li et al., 2012). Osnovni princip računovodstva za *lean* je to da je mapa toka vrednosti jedini odgovarajući entitet za prikupljanje i analizu troškova unutar jedne organizacije (Waddell, 2010), jer mapiranje toka vrednosti omogućava sveobuhvatan pregled svih osnovnih i pridruženih poslovnih aktivnosti potrebnih da se isprati porudžbina kupca od početka do kraja. Ovaj sistem je najadekvatniji za *lean* organizacije zato što pojednostavljuje upravljanje i obezbeđuje vidljivost za praćenje kontinuiranih unapređenja. Ali ono što je važno jeste da preduzeće mora biti u odmakloj fazi implementacije *lean*-a, odnosno potpuno organizovano u tokove vrednosti, kako bi ovaj model obračuna bio uopšte primenjiv. Kada je u pitanju tradicionalna organizacija, onda se primenjuje tradicionalna proizvodnja, tradicionalno računovodstvo i finansijsko izveštavanje, a kada je preduzeće na početku *lean* implementacije onda je proizvodnja sa elementima *lean*-a, računovodstvo i izveštavanje je tradicionalno i polako se dodaju novi *lean* izveštaji. Kada je *lean* implmentacija u odmakloj fazi onda je *lean* proizvodnja, *lean* računovodstvo i izveštavanje, uz zadržavanje i tradicionalnog finansijskog izveštavanja, a kada preduzeće postane potpuno *lean* onda su svi segmenti u znaku *lean*-a. Salah i Zaki navode da su proizvodne ćelije u okviru toka vrednosti strukturirane tako da proizvode grupe proizvoda i delova koji zahtevaju isti redosled operacija i da je kroz ovaj sistem obračuna troškova menadžerima i donosiocima odluka obezbeđena dobra podloga tačnih i relevantnih informacija o troškovima koje su im potrebne da bi donosili efikasne odluke (Salah & Zaki, 2013). Formiranje cena je zasnovano na vrednosti koja je stvorena za kupca, tako da više i nema direktne zavisnosti između troškova i cene. Okruženje nameće zahtev da se cene formiraju na osnovu potreba tržišta kako bi preduzeće ostvarilo konkurentsku prednost. Troškovi proizvoda između ostalog zavise i od brzine kojom se proizvod kreće kroz tok vrednosti, posebno od brzine prevazilaženja uskih grla.

Obračun troškova zasnovan na toku vrednosti pruža finansijske informacije koje su razumljive svim učesnicima u toku vrednosti, a ne samo onima koji se razumeju u finansije. Svi troškovi u okviru toka vrednosti se posmatraju kao direktni, a na sledećoj slici su prikazane kategorije troškova koje su identifikovane duž toka vrednosti (Maskell et al., 2012).



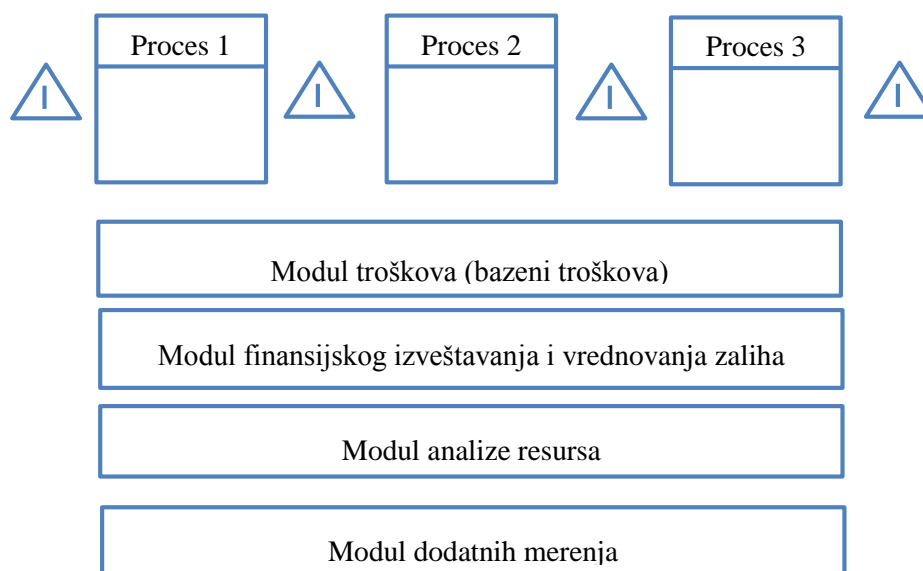
Slika 10. Raspored troškova duž toka vrednosti

Troškovi radne snage uključuju troškove svih radnika koji su angažovani u određenom toku vrednosti, bilo da su angažovani u proizvodnji, pripremi, rukovanju materijalom, razvoju proizvoda, obračunu troškova, marketingu ili održavanju mašina uključenih u taj tok vrednosti. Troškovi materijala uglavnom podrazumevaju troškove materijala svih prodatih proizvoda u okviru nekog vremenskog perioda (jedna nedelja) iz određenog toka vrednosti, a manje troškove materijala svih proizvoda koji se nalaze u procesu. U troškove koji se odnose na podršku proizvodnji se ubrajaju troškovi rezervnih delova, potrošnja energije i dnevni rashodi. Troškovi postrojenja se obračunavaju na osnovu broja kvadratnih metara koje zauzimaju, što motiviše na smanjenje te površine i bolju organizaciju. A kako bi se podržao ovaj sistem obračuna troškova, tradicionalni izveštaji moraju da postanu prošlost i da se kreiraju novi oblici izveštaja koji će pratiti gubitke i profit svakog toka vrednosti. Definitivno postoje troškovi u preduzeću koje je nemoguće pridružiti nekom toku vrednosti (troškovi istraživanja i razvoja) ali su oni zanemarljivo mali (jer se većina aktivnosti u preduzeću ipak pridružuje toku vrednosti) i iskazuju se u konačnim izveštajima preduzeća, bilansu stanja i uspeha. Ovaj sistem obračuna troškova pre svega postoji da obezbedi tačne, relevantne i razumljive informacije o troškovima koje bi služile menadžerima da upravljaju tim tokom vrednosti.

Na osnovu poređenja tradicionalnog sistema računovodstva i računovodstva za *lean*, može se identifikovati nekoliko ključnih razlika. Kod tradicionalnog računovodstva nosioci troškova su proizvodi, dok je kod *lean* računovodstva nosioc troška ceo tok vrednosti. Promene se dešavaju i po pitanju onih koji obračunavaju troškove, pa tako umesto da to rade isključivo zaposleni u računovodstvu, rade svi zaposleni koji učestvuju i upravljaju tokom

vrednosti. Organizaciona kultura u preduzeću organizovanom u skladu sa tokovim vrednosti osnažuje jednakost i saradnju, a ne sistem naredbi i kontrole. Razmena informacija nije više jednosmerna, nego se odvija u svim pravcima. U okviru tradicionalnog računovodstva, akcenat je na analizi troškova i analizi isključivo finansijskih performansi, dok se sada analiza troškova sprovodi uz istovremeno praćenje unapređenja i analizu i operativnih performansi. Kada je tržište bilo zatvoreno, prodajna cena se formirala kao zbir troškova i profita, dok sada u uslovima otvorenog tržišta, prodajna cena se nameće od strane tržišta i na prvom mestu su troškovi, a računaju se kao razlika između prodajne cene i profita.

Sobczyk i Koch su istakli da obračun troškova zasnovan na toku vrednosti, iako perfektno kreiran za *lean* proizvodne organizacije, ne nalazi široku primenu u preduzećima koja su u početnim fazama implementacije *lean*-a (Sobczyk & Koch, 2008). Tek kada je proces implementacije *lean*-a uspostavljen, stabilan i kontrolisan, ovaj sistem obračuna troškova ima smisla. Istražujući ovu temu i radeći na njenom unapređenju, oni su predložili model mapiranja toka vrednosti uz dodavanje 4 nova modula, a sa ciljem merenje performanse bilo koje mape toka vrednosti tokom vremena. Statička priroda mape toka vrednosti i dinamička priroda svakog sistema, zahtevaju merenja stanja proizvodnih entiteta tokom vremena i u te svrhe su predložena 4 modula prikazana na slici 11. Modul troškova u kom je svaka kategorija troškova podeljena u, kako su ih oni nazvali, bazene troškova i svaki bazen troškova je pozicioniran uz odgovarajući process. Ovaj modul obezbeđuje pridruživanje troškova proizvodnim entitetima.



Slika 11. Gradivni blokovi mape toka vrednosti i troškova

Ovaj model je razvijen kako bi podržao analizu stanja proizvodnog sistema tokom vremena i praćenje troškova duž mape toka vrednosti i njihovih uzroka. Takođe, omogućava analizu

finansijskih posledica promena koje će se dešavati implementacijom predloženih mera unapređenja. Prilikom raspoređivanja troškova i njihovog pridruživanja proizvodnim entitetima uvek treba imati na umu činjenicu da neke resurse, bilo da su u pitanju mašine, radna snaga ili materijali, može da koristi više različitih mapa toka vrednosti u okviru istog preduzeća. Broj kategorija troškova koji će se analizirati u okviru toka vrednosti zavisi od individualnih potreba i preferencija, s tim da detaljnija struktura daje bolju osnovu za donošenje odluka, a sa druge strane suviše mnogo kategorija troškova mogu narušiti razumevanje performansi toka vrednosti (Sobczyk & Koch, 2005). Oni su u svom radu naveli da prilikom definisanja broja kategorija troškova koje će biti uključene u analizu, treba imati na umu primarnu ulogu uključivanja troškova u tok vrednosti, a to je:

- pojednostavljeno razumevanje ponašanja troškova u toku vrednosti,
- da se oceni koliko košta bilo koji proces koji je predmet analize i da se naglasi koje resurse koristi svaka od kategorija troškova,
- da se identifikuju koji bazeni troškova su deljeni od strane više tokova i kom toku pripada koji proces i
- da se identifikuje gde će rezultati unapređenja najbolje biti vidljivi i kako se neke kategorije troškova ponašaju tokom vremena.

U istraživanju koje je sprovedeno u 244 preduzeća u Americi koja su počele sa implementacijom *lean* proizvodnje ili su već u odmakloj fazi, pokazalo se da veći stepen implementacije pozitivno utiče na osnaživanje radne snage i količinu informacija potrebnih za merenje performansi sistema, pojednostavljuje izveštavanje i primenu računovodstva zasnovanog na toku vrednosti (Fullerton et al., 2013). Takođe se došlo do zaključka da početne faze implementacije *lean* proizvodnje imaju negativan uticaj na praćenje zaliha, ali je to isključivo povezano sa spremnošću top menadžmenta da menja proizvodnu strategiju.

U knjizi *Realni brojevi*, navedeno je nekoliko preporuka, koje su autori nazvali čak i principima na kojima je zasnovano *lean* računovodstvo (Cunningham & Fiume, 2003). Ono što je najinteresantnije je da su napravili razliku između tačnosti i preciznosti, u korist tačnosti, koja je za njih vrednija. Naime, *lean* računovodstvo zahteva tačne informacije, a da bi se dobile tačne informacije o troškovima, potreban je visok nivo preciznosti u analizi troškova. Oni naglašavaju da računovodstvene informacije nisu jedini izvor finansijskih informacija. Do sada je primenjivana praksa da ono što računovodstvo nalaže da se uradi treba uvek da se poštuje, jer obično su dosadašnji procesi postavljeni tako da zadovolje potrebe računovodstva. To ne sme da bude tako jer računovodstvo mora da bude u funkciji proizvodnje, a ne obrnuto. Sledeći trošak koji će se napraviti u toku vrednosti, je mnogo važniji od onog koji je već nastao u nekom od prethodnih koraka. Novac je mnogo vredniji za ulaganje u neke fleksibilne kapacitete, a ne u zalihe.

## 2.4 VREMENSKO – TROŠKOVNI PROFIL

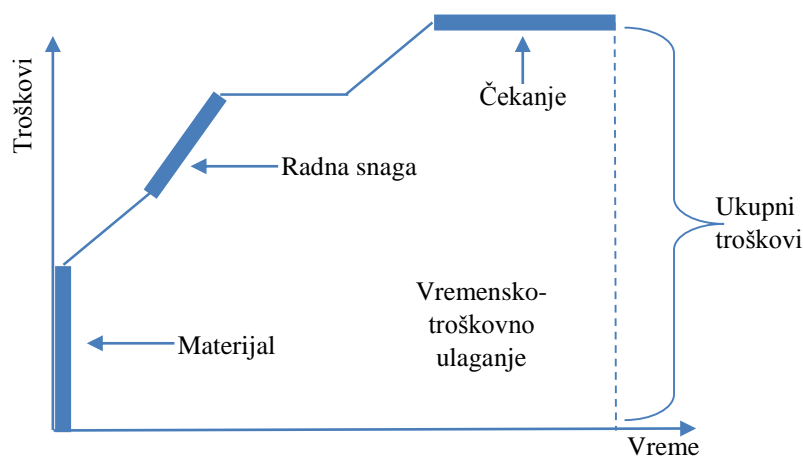
Određivanje troškova proizvoda se vrši evaluacijom upotrebe resursa za njihovu proizvodnju i do sada su se primenjivala dva prilaza (Rivera i Chen, 2007). Prvi prilaz se odnosi na tradicionalno računovodstvo, gde se troškovi akumuliraju kroz različite sisteme računovodstva i ovaj prilaz se prvenstveno koristi u svrhe finansijskog računovodstva i kao što je prikazano u prethodnom poglavlju ovaj sistem je poprilično kritikovan od strane različitih autora. Drugi prilaz se odnosi na mapiranje toka vrednosti kako bi se vizuelizovali procesi i njima pridruženi resursi. U oba slučaja nešto nedostaje. Naime računovodstvo posmatra samo troškove bez njihove korelacije sa vremenom, a mapiranje toka vrednosti naglasak stavlja prvenstveno na vreme.

Kao jedno od mogućih rešenja prethodno navedenih nedostataka postojećih prilaza, pojavio se vremensko-troškovni profil (eng. *Cost-Time profile*). Pojam vremensko-troškovni profil je prvi put uveden od strane Džeka Fuksa i to je tehnika koja je razvijena u *Westinghouse Electric Corporation* kao odgovor na pitanje: kako izmeriti unapređenja procesa ili kako doneti pravu odluku koja mera treba biti primenjena sa ciljem da se proces unapredi (Fooks, 1993). Fuks je definisao vremensko-troškovni profil kao dijagram akumulacije troškova duž svake jedinice vremena kroz ceo poslovni ciklus (od pregovaranja sa kupcem i prijema porudžbine do isporuke i naplate gotovog proizvoda) i ovaj profil predstavlja novčano orijentisan dijagram. On naglašava da je najvažnije razumeti ulaganje (investiranje) kao dinamičku, a ne statičku kategoriju jer novac ima vrednost i njegova vrednost je povezana sa pozicijom u vremenu.

Osnove za vremensko-troškovno profilisanje leže u ideji da svaka poslovna aktivnost može biti posmatrana kao akumulacija troškova u vremenu i ovaj alat je potpuno komplementaran sa mapiranjem toka vrednosti, jer daje kompletniju sliku procesa s obzirom da obezbeđuje praćenje interakcije između vremena i novca (Rivera & Chen, 2006). Mapiranje toka vrednosti ne sadrži informacije o načinu kako su troškovi nastali ni kako se akumulacija troškova u vremenu odražava na poslovanje i parametre sistema.

Vremensko-troškovni profil je grafički prikaz akumulacije direktnih troškova koji prati kretanje proizvoda kroz proces i koji pokazuje koliko je novca potrošeno na proizvodnju i koliko vremena će proći do momenta kada se novac vraća kroz prodaju (Rivera, 2006). Vremensko-troškovni profil je vredan pažnje iz razloga što otkriva nove mogućnosti za

unapređenje i kako oceniti i izabrati najbolju meru da se postigne unapređenje. Takođe, obezbeđuje kvantifikaciju ušteta nakon implementacije predloženih mera unapređenja.



Slika 12. Vremensko-troškovni profil

Da bi se nacrtao dijagram prikazan na slici 12, neophodne su informacije o procesima, troškovima i aktivnostima i bez obzira na tip proizvodnog procesa i njegovu složenost, sastoji se od tri komponente: (1) materijal (uključujući usluge i informacije), (2) radna snaga i (3) čekanje (Fooks, 1993; Chaudhari, 2007; Rivera, 2006). Komponenta koja se odnosi na radnu snagu se može nazvati i aktivnost, zato što se odnosi na troškove izvođenja aktivnosti.

Materijalni troškovi se na dijagramu prikazuju vertikalnom linijom i to je trošak koji nastaje u trenutku vremena, na početku neke aktivnosti. Materijal može odmah da uđe u sistem na početku procesa ili da se primenjuje *Just In Time* sistem dolaska materijala, odnosno da materijal ulazi u sistem baš u trenutku kada je potreban za neku aktivnost.

S obzirom da se u kreiranju vremensko-troškovnog profila uzimaju u obzir samo identifikovani direktni troškovi, čekanje se u ovom slučaju prikazuje horizontalnom linijom, iako u određenoj meri utiče na indirektno troškove. Ali, ovo ipak nije u potpunosti horizontalna linija i ima mali pozitivni nagib jer čekanje definitivno prouzrokuje određene troškove kao što su troškovi vezanih sredstava, troškovi zaliha i slično (Gračanin et al., 2014). Čekanje svakako utiče na vremensko-troškovno ulaganje (eng. *Cost-Time Investment*) jer povećava vreme koje je potrebno da se neka investicija pokrije a ujedno povećava i vreme koje protekne do izlaska proizvoda na tržište.

Aktivnosti se na dijagramu predstavljaju dijagonalnom linijom, i to je ustvari posao koji je odrađen a na dijagramu je to prikazano kao količina novca po vremenskoj jedinici dodata ukupnoj investiciji tokom vremena. Za svaku aktivnost je potrebno prikupiti podatke o početku i završetku aktivnosti, vremenu trajanja, troškovima radne snage vezane za tu

aktivnost, troškovim tehnoloških sistema i drugim direktnim troškovima koje ta aktivnost zahteva. Kada su svi ovi podaci prikupljeni poznato je onda kada se koja komponenta dešava, koliko svaka komponenta košta, a kombinujući ta dva podatka dobija se informacija koliko svaka jedinica vremena u toku procesa zapravo košta (Rivera & Chen, 2006). Površina ispod krive predstavlja i zalihe u sistemu, uključujući zalihe materijala, zalihe nedovršene proizvodnje i zalihe gotovih proizvoda.

Ukupni troškovi predstavljaju jednostavno sumu svih direktnih troškova i na dijagramu je to njegova najviša tačka. Ali ukupni troškovi kao takvi i dalje ne daju informaciju o uticaju vremena na investiranje. Vremensko-troškovni profil pokazuje vremensku dimenziju akumulacije troškova, a vremensko-troškovno ulaganje, odnosno površina koja se kreira ispod krive, je mera ulaganja resursa koji učestvuju u procesu stvaranja proizvoda i njegove vrednosti (Rivera & Chen, 2006). Tek vremensko-troškovno ulaganje pokazuje zavisnost vremena i troškova i cilj je upravo smanjiti tu površinu ispod krive na bilo koji ekonomičan način. Smanjenje visine ove kreirane površine ukazuje na smanjenje direktnih troškova, dok smanjenje dužine ukazuje na smanjenje vremena trajanja ciklusa proizvodnje, što dovodi do povećanja kvaliteta i usluge za kupca.

Makro vremensko-troškovni profil služi da se identifikuju područja poslovanja koja stvaraju najveću stopu prinosa i on se pravi na nivou celog preduzeća, dok mikro vremensko-troškovni profil služi za identifikaciju ključnih područja za unapređenje. Najvažniji zadatak je identifikovati najbolji način za smanjenje površine. Ali veoma dobra strana vremensko-troškovnog profila je što omogućava dobru vezu između finansijske analize i analize konkurentnosti, te stoga pruža veći prostor za unapređenje. Iskustvo u *Westinghouse Electric Corporation* je pokazalo da je vreme veoma povezano sa problemima u kvalitetu. I Bicheno se slaže da kupci dobar kvalitet povezuju sa kraćim odgovorom na njihov zahtev, odnosno poštovanjem rokova isporuke i pravi korelaciju između izgubljenog vremena i lošeg kvaliteta (Bicheno & Holweg, 2009). On ističe da vremensko-troškovni profil može da ima široku upotrebu u *lean* proizvodnji, analizi lanca snabdevanja, reinženjeringu poslovnih procesa, kao i upravljanju totalnim kvalitetom. Isto tako se navodi da je vremensko-troškovni profil veoma moćan alat i da ima izuzetan značaj za top menadžment, što je njegova najveća prednost, ali da nije jednostavan za crtanje i da podaci uglavnom nisu lako dostupni. S druge strane, grafička ilustracija je veoma korisna sama po sebi s obzirom da omogućava donosiocima odluka vizuelizaciju kumulativnih troškova, ali bez dodatne analize ne uspeva u potpunosti da demonstrira odnos vremena i troškova, s obzirom da troškovi imaju promenljivu i fiksnu komponentu (Whicker & O'Brien, 2007). Ušteda od 1 sata u jednom procesu može dati različit ekonomski efekat u odnosu na tu istu uštedu u nekom drugom procesu.

Pre početka implementacije *lean* filozofije u preduzeću, potrebno je obezbediti pre svega odanost svih zaposlenih i dovesti ih u stanje spremnosti da private promene. Zatim potrebno je dobro razumevanje onoga što treba da rade a to se postiže kroz treninge i obuke. Da bi se krenulo sa implementacijom, neophodno je definisati operativne ciljeve uz obavezan naglasak na povećanje operativnog profita, zatim postaviti koordinate koji će biti odgovorni i raditi pod kontrolom savetodavnog odbora. Nakon toga je potrebno kreirati makro i mikro vremensko-troškovne profile i napraviti sam plan implementacije u smislu definisanja prioriteta, izbora projekata unapređenja i kreiranja terminskog plana aktivnosti.

Chaudhari je zaključila da vremensko-troškovni profil pomaže da se sam proces bolje razume sa aspekta vrednosti, obezbeđuje mnogo tačnije procene troškova povezane sa procesom i omogućava bolje generisanje i evaluaciju ideja (Chaudhari, 2007). Ona napominje i da nema još dovoljno dokaza da vremensko-troškovni profil u praksi zaista daje takve koristi koji su pretpostavljeni u teorijskim istraživanjima. Predložila je izmene u sferi inženjeringa vrednosti jer obezbeđuje bolje razumevanje procesa i bolju procenu troškova, omogućava jednostavnije generisanje i evaluaciju ideja i olakšava komunikaciju.

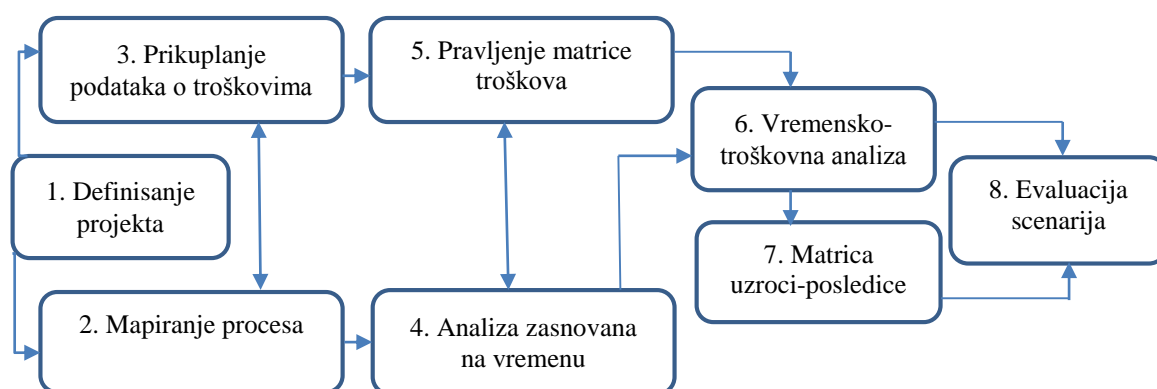
Preduzeća, kao i sve organizacije uopšte, mogu koristiti “vreme” kao ključni parameter da bi postigli prednost u odnosu na konkurente na tržištu. Stalk i Hout navode da preduzeća novijih generacija prepoznaju vreme kao jednu od dimenzija konkurentnosti i ističu da je odnos vreme-troškovi veoma važan i da se na svakih 25% smanjenja ukupnog vremena trajanja procesa, može povećati produktivnost za 100%, dok se troškovi mogu smanjiti za 20% (Stalk & Hout, 2003). Oni takođe ističu da se troškovi ne povećavaju ukoliko se smanji vreme od trenutka prijema porudžbine do trenutka isporuke, nego se smanjuju. Troškovi se ne povećavaju kada se povećava broj različitih varijanti proizvoda, nego se smanjuju.

Najveći doprinos vremensko-troškovnog profila jeste upravo u unapređenju tačnosti obračuna direktnih troškova proizvoda, kao i otkrivanje nekih skrivenih troškova koji pre nisu uzimani u razmatranje. Ovo takođe doprinosi i unapređenju planiranja budžeta preduzeća.

Kao što je navedeno u prvom poglavlju, veliki problem kod implementacije *lean* proizvodnje je nedostatak sistema za evaluaciju koristi koje se ostvaruju, a upravo vremensko-troškovni profil i vremensko-troškovno ulaganje doprinose rešenju ovog problema jer ukazuju na ekonomske efekte nekih unapređenja. Recimo, kada se donosi odluka da li neku aktivnost zameniti nekom bržom i skupljom ili sporijom i jeftinijom, vremensko-troškovni profil pruža informaciju o kretanju i ponašanju tih troškova u vremenu.



Iako se do sada jako malo istraživalo na temu mogućnosti koje nudi vremensko-troškovni profil u oblasti unapređenja efikasnosti preduzeća, ta istraživanja su bila usmerena uglavnom na ispitivanja kako smanjenje troškova aktivnosti i materijala utiče na ukupnu investiciju u vremenu. Međutim, do sada nije bilo istraživanja na temu kako primena različitih pravila raspoređivanja prilikom terminskog planiranja utiču na vremensko-troškovnu dimenziju. Whicker i O'Brien su vođeni saznanjem o značaju kombinovanja vremena i troškova u upravljanju lancem snabdevanja i koristeći elemente vremensko troškovnog profila razvili svoju metodu mapiranja vremena i troškova u lancu snabdevanja koja kombinuje tehniku mapiranje procesa i metodologiju obračuna troškova zvanu na aktivnostima kako bi unapredili vidljivost i performanse (Whicker & O'Brien, 2007). Proces mapiranja se sprovodi u 8 koraka (slika 13) počevši od definisanja samog projekta do evaluiranja različitih scenarija unapređenja. Rezultati primene ove metode u trajanju od godinu dana pokazali su da su dobijene informacije i saznanja o troškovima i vremenu koje je obezbedilo ovo mapiranje značajno ojačala proces donošenja odluka.



Slika 13. Metod mapiranja aktivnosti i troškova u lancu snabdevanja

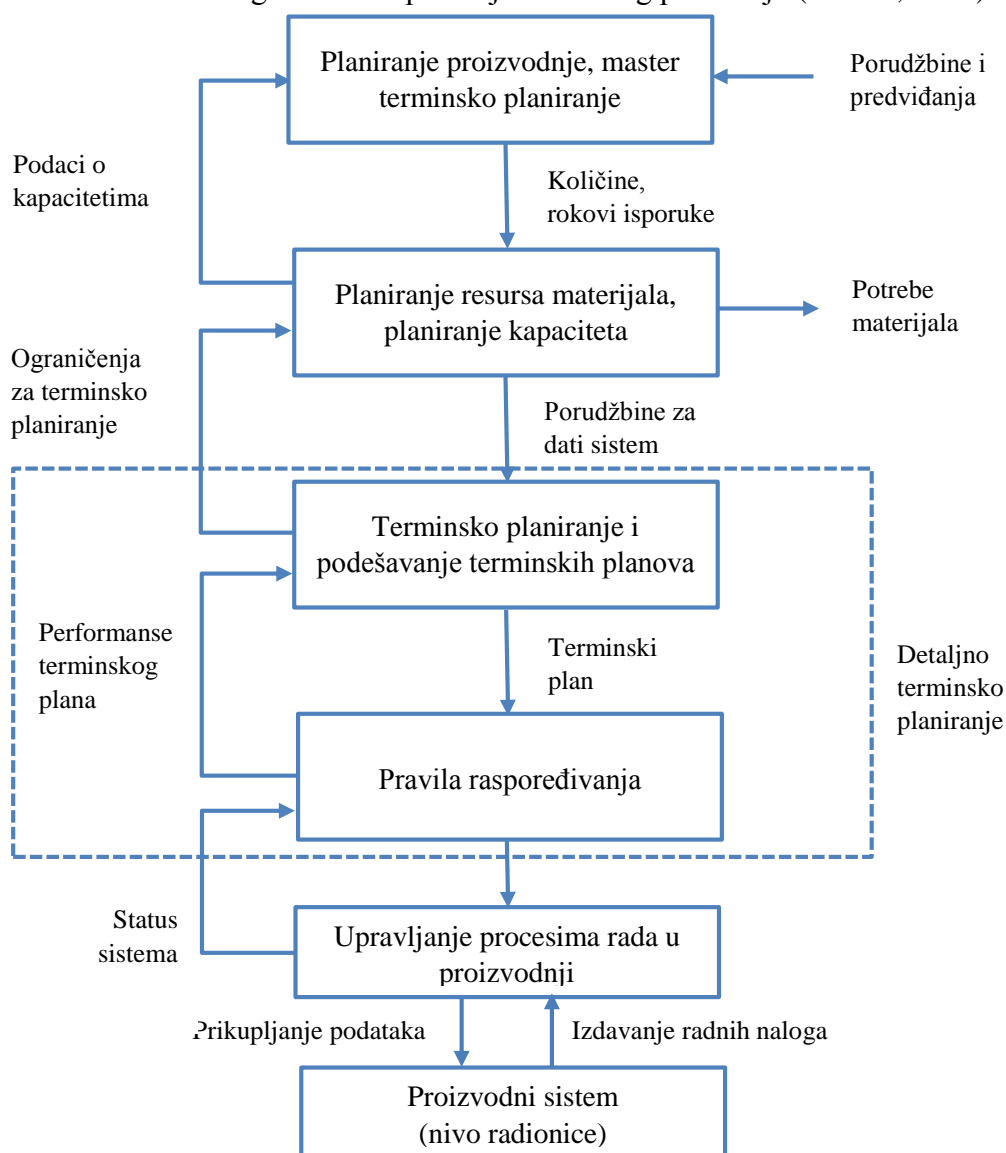
Kasnije je Whicker nastavio istraživanja u ovoj oblasti sa drugom grupom autora i sproveli su istraživanje koristeći malo drugačiju metodologiju za prikupljanje i analizu podataka koju su razvili 2003 godine (Bernon et al., 2003). Proces prikupljanja podataka podrazumeva 4 koraka i prvo se mapiraju procesi i radi analiza zasnovana na vremenu, zatim se prikupljaju podaci o troškovima, koji se itegrišu sa prethodno prikupljenim informacijama o vremenu i na kraju se primenom tehnike vremensko-troškovnog profila identifikuju područja za unapređenje (Whicker et al., 2009). Zaključci ovog istraživanja su pokazali da optimizacija troškova sprovedena u nekom određenom delu preduzeća, odnosno funkciji, može dovesti do povećanja troškova u nekom drugom delu, vreme i troškovi u lancu snabdevanja nemaju linearnu zavisnost i mogućnosti da se smanje troškovi vezani za neku aktivnost koja ne dodaje vrednost su zavisni od fiksni komponenti koje čine tu aktivnost.

## 2.5 TERMINSKO PLANIRANJE I RASPOREĐIVANJE RADNIH NALOGA

Ako je neki posao u proizvodnji uspješno sproveden, vrlo je verovatno da su se onda sve aktivnosti izvršile u skladu sa unapred utvrđenim terminskim planom. Sve aktivnosti, operacije i procesi u jednom preduzeću moraju biti dobro vremenski isplanirani i usklađeni kako bi se ispunili proizvodni i prodajni planovi, a da se pri tom raspoloživi kapaciteti iskoriste na efikasan način. Planiranje podrazumeva generisanje proizvodnih zadataka uključujući i predviđanje potražnje i cena (Tešić et al., 2010). Planiranje daje odgovor na pitanja koji će proizvodi biti proizvedeni, u kom periodu, u kojim količinama sa ciljem da se zadovolje zahtevani rokovi isporuke. Terminsko planiranje je jedan od najvažnijih alata u procesima planiranja i upravljanja proizvodnjom, zato što određuje redosled svih aktivnosti sa ciljem optimizacije vremena, kao najznačajnijeg ograničenja, i preduzeća moraju imati veoma dobar sistem planiranja i terminiranja kako bi bili u mogućnosti da zadovolje promenljive potrebe kupca (Lestan et al., 2009). Redosled operacija u okviru nekog radnog naloga je svakako unapred poznat, ali ono što je problem jeste da se radni nalozi optimalno rasporede. Terminsko planiranje je ključni proces donošenja odluka jer direktno utiče na operativnu efikasnost proizvodnih preduzeća (Zhang et al., 2013). Pored optimizacije vremena trajanja ciklusa proizvodnje, terminsko planiranje sada pomera fokus i na optimizaciju pripremno-završnih vremena i troškova. Naime, tradicionalni modeli terminiranja su u funkciju cilja uključivali samo proizvodnu efikasnost, a sada se preduzeća ipak orijetišu na minimizaciju troškova kao i potrošnju energije. Ovo pomeranje težišta na finansijske parametre i u području terminskog planiranja, daju još jedan doprinos značaju i aktuelnosti same teme ove doktorske disertacije.

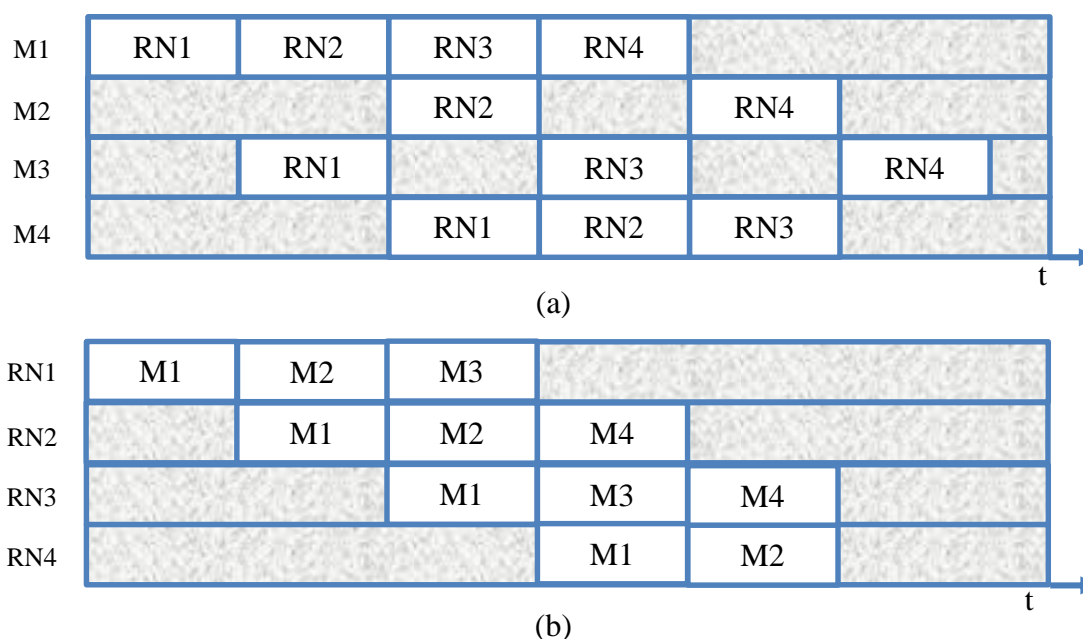
Terminsko planiranje se može definisati i kao alokacija resursa sa ciljem izvršenja grupe zadataka u određenom periodu vremena (Demir & Isleyen, 2013). Ovo raspoređivanje resursa mora biti odrađeno na takav način da preduzeće optimizuje postavljenu funkciju cilja. Porudžbine koje stignu u preduzeće moraju da se prevedu u radne naloge koji će biti povezani sa rokovima isporuke. Pronalaženje najboljeg plana izvođenja aktivnosti može biti jednostavan a može biti i veoma komplikovan posao u zavisnosti od ograničenja procesa, internog okruženja i indikatora performansi. Jedan od najtežih zadataka u ovoj oblasti jeste kako rasporediti  $n$  radnih nalog na  $m$  mašina, a pri tom se svaki radni nalog sastoji od nekoliko operacija koje moraju biti izvršene na mašinama a da se pri tome zadovolje unapred definisana ograničenja. Problem je rasporediti sve operacije iz tehnološkog postupka nekoliko različitih proizvoda na nekoliko različitih mašina, a pri tom svaki proizvod zahteva obradu na više mašina. Ovo je bio komplikovan posao i kada su uslovi poslovanja i okruženje

bili poprilično stabilni i nije bilo tako intenzivnih promena, kao ni posebnih zahteva kupaca, odnosno nije se radilo na personalizaciji. U okviru ove oblasti iznova i iznova su se otvarala područja za istraživanje različitih kombinatorika i ograničenja u smislu definisanja prioriteta između radnih naloga i njihovog raspoređivanja na tehnološke sisteme i radna mesta (Gen et al., 1994). Pravila raspoređivanja određuju redosled radnih naloga koji su u redu čekanja na određeni tehnološki sistem i glavni cilj je optimizacija vremena trajanja proizvodnje i rokova isporuke (Lua et al., 2011). Sa druge strane, postupak mapiranja toka vrednosti u ovom okruženju (proizvodnja po porudžbini, proizvodnja u malim serijama, pojedinačna proizvodnja) bi trebao biti veoma fleksibilan kako bi mogao da isprati sve zahteve dinamičke prirode raspoređivanja radnih naloga (Alves et al., 2005). Funkcija terminskog planiranja je povezana sa mnogim drugim funkcijama u preduzeću, kao što je predviđanje i planiranje proizvodnje, upravljanje zalihama i na sledećem dijagramu je prikazan informacijski tok u proizvodnom sistemu sa naglaskom na položaj terminskog planiranja (Pinedo, 2005):



Slika 14. Dijagram toka informacija u proizvodnom sistemu

Gantt je u svom radu posvećenom terminiranju i raspoređivanju radnih naloga upozoravao da i najbolje napravljen plan aktivnosti, terminski plan ili neki obični raspored napravljen od strane planera, gubi svoj smisao i postaje potpuno neupotrebljiv ukoliko se ignoriše (Buchmeister, 2013). Gantt je tako projektovao svoje tzv. Gantove dijagrame da onaj ko je odgovoran za njih veoma brzo može da sazna da li se proizvodnja odvija po planu ili ima kašnjenja. On je uveo dva principa za terminske planove i jedan se odnosi na to da se aktivnost meri količinom vremena koje je potrebno da se ta aktivnost realizuje a drugi princip ukazuje na to da prostor u okviru terminskog plana odgovara obimu aktivnosti koji se sprovodi u datom vremenu (Gantt, 1919). Gantovi dijagrami mogu biti orijentisani prema mašinama ili orijentisani prema radnim nalogima (slika15).



Slika 15. Gantov dijagram (a) orijentisan prema mašinama (b) orijentisan prema radnim nalogima

Istraživanja u oblasti pravila raspoređivanja radnih naloga (eng. *dispatching rules*), odnosno poslova u proizvodnim sistemima je aktuelna tema već dugi niz godina. Pravila raspoređivanja mogu biti kategorisana na nekoliko različitih načina. Pinedo pre svega navodi podelu na statička i dinamička pravila (Pinedo, 2005). Statička pravila nisu vremenski zavisna i ona određuju prioritet radnih naloga na dolasku i ovaj prioritet se ne menja tokom procesuiranja naloga. Za razliku od statičkih, dinamička pravila su vremenski zavisna i daju vremenski zavisan prioritet radnim nalogima i upravo dinamička pravila su u mnogo većoj sferi interesovanja za istraživanje, kako u akademskim krugovima tako i u praksi. To znači da u jednom trenutku jedan radni nalog može imati veći prioritet od drugog, a da kasnije možda imaju isti prioritet. Osnovni razlog za to je što na performanse pravila raspoređivanja utiču različiti parametri koji upravo određuju ovaj prioritet poslova i nema jedinstvenog

pravila koje će biti najbolje u svim uslovima (Jayamohan & Rajendran, 2004). I opet ako se zna koliko je okruženje dinamično i koliko se brzo menjaju zahtevi kupaca, kako u pogledu samog proizvoda tako i u pogledu rokova isporuka, potvrđuje se koliko samo terminsko planiranje predstavlja važno pitanje u preduzeću. Izbor pravila raspoređivanja zavisi i od postavljene funkcije cilja i većinom su ciljevi povezani sa optimizacijom vremena, jer je to obično i osnov za optimizaciju troškova. Tako je Tejlorova ideja odvajanja planiranja od izvršavanja opravdala upotrebu formalnih metoda terminskog planiranja, koje su postajale kritična tačka kako je kompleksnost preduzeća i njihovog odnosa sa okolinom rasla (Polajnar et al., 2009).

Drugi način kategorizacije pravila može biti izveden na osnovu informacija na kojima su ta pravila zasnovana. Lokalna pravila koriste samo informacije o redu čekanja gde je određeni radni nalog smešten ili o mašini gde je radni nalog u redu čekanja. Globalna pravila koriste i informacije o drugim mašinama, kao na primer vreme obrade na sledećoj mašini na koju radni nalog treba da ide. Jednostavna pravila raspoređivanja su povezana sa vremenom trajanja operacija, pripremno-završnim vremenima, brojem operacija, troškovima, vremenima pristizanja porudžbina, rokovima isporuke i u skladu sa tim postoji i sledeća kategorizacija pravila raspoređivanja (Blackstone et al. 1982):

- pravila koja samo uključuju vreme trajanja operacija,
- pravila koja uključuju vreme isporuke,
- pravila koja ne razmatraju ni vreme trajanja operacija ni vremena isporuke i
- kompleksna pravila

U nastavku je dat ograničen prikaz pravila raspoređivanja (Buchmeister, 2013; Pinedo, 1995; Pinedo, 2005; Rakićević i Kojić, 2013) koja će se kasnije koristiti u istraživačkom delu ove disertacije.

#### Pravila koja uključuju vreme trajanja operacija

*SPT* (eng. *Shortest Processing Time*) – Najkraće ukupno vreme trajanja operacija

$$\min \sum_{j \in O_i} p_{ij}$$

gde su  $i$  – brojač radnih naloga,  $j$  – brojač operacija,  $O$  – redosled svih operacija,  $p$  – ukupno vreme trajanja operacija. Prioritet se daje radnom nalogu koji ima najkraće vreme trajanja operacija (najmanji obim posla).

*LPT* (eng. *Longest Processing Time*) – Najduže ukupno vreme trajanja operacija

$$\max \sum_{j \in O_i} p_{ij}$$

Prioritet se daje radnom nalogu sa najdužim vremenom trajanja operacija (najobimniji posao), odnosno radnom nalogu koji ima najduže preostalo vreme obrade.

*WSPT* (eng. *Weighted Shortest Processing Time*) – Ponderisano najkraće ukupno vreme trajanja operacija

$$\min w_i \sum_{j \in O_i} p_{ij}$$

gde je  $w_i$  – ponderisana vrednost radnog naloga (svakom radnom nalogu se dodeljuje težinski koeficijent, odnosno njegova vrednost se ponderiše u skladu sa prioritetom koji taj radni nalog ima).

Pravila koja uključuju vreme isporuke

*EDD* (eng. *Earliest Due Date*) – Najranije vreme isporuke

$$\min d_i$$

gde je  $d$  – vreme isporuke. Prioritet se daje radnom nalogu koji ima najraniji rok isporuke odnosno rok završetka.

*CR* (eng. *Critical Ratio*) – Kritični odnos i ovo pravilo raspoređuje radne naloge na osnovu odnosa (racija) između vremena preostalog do isporuke i vremena trajanja preostalih operacija. Ovo pravilo je kompromis između *LPT* i *EDD* pravila.

$$\min \frac{(d_i - t_0 - \sum_{j \in P_i} p_{ij})}{p_{0i}}$$

gde je  $t_0$  – trenutno vreme.

*MS* (eng. *Minimum Slack*) ili *LS* (eng. *Least Slack*) – Minimalna rezerva vremena do roka isporuke

$$\min(d_i - t_0 - \sum_{j \in P_i} p_{ij})$$

Prioritet ide radnom nalogu koji ima najmanju vremensku rezervu između roka isporuke i tekućeg datuma uzimajući pri tom u obzir i vreme trajanja preostalih operacija. Ovo pravilo je slično *EDD* pravilu i oba imaju za cilj smanjenje kašnjenja proizvoda a ujedno se smanjuju vremenske rezerve na mašinama kao i čekanje proizvoda na obradu.

ATC (eng. *Apparent Tardiness Cost*) je mešovito pravilo koje kombinuje *WSPT* i *MS* pravilo. Prema ovom pravilu radni nalozi su raspoređeni prema vremenu, odnosno u svakom trenutku vremena kada mašina postane slobodna indeks rangiranja se računa za svaki preostali radni nalog. I onda se radni nalog sa najvećim rangom procesuiraju sledeći. Indeks se izračunava na osnovu sledeće formule:

$$I_j(t) = \frac{w_j}{p_j} \exp\left(-\frac{\max(d_j - p_j - t, 0)}{k * \bar{p}}\right)$$

gde su  $w_j$  – težinski koeficijent radnog naloga,  $p_j$  – vreme trajanja operacija,  $d_j$  – vreme isporuke,  $\bar{p}$  – prosečno vreme trajanja preostalih radnih naloga, a  $k$  je koeficijent skaliranja, koji može biti određen empirijski. Ako je vrednost koeficijenta  $k$  velika, onda ovo pravilo više liči na *WSPT* pravilo, a ako je vrednost koeficijenta  $k$  mala onda je više približno *MS* pravilu.

Nekoliko modifikacija ATC pravila je u upotrebi kako bi se uzelo u obzir i pripremno-završno vreme ili vreme kada je radni nalog raspoloživ za obradu. Takvo pravilo je i *ATCS* (eng. *Apparent Tardiness Cost with Setups*) gde prioritet bilo kog radnog naloga zavisi od završetka radnog naloga na mašini koja je upravo oslobođena. Formula po kojoj se izračunava indeks radnog naloga  $j$  u trenutku  $t$  kada je radni nalog  $l$  završen glasi:

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

gde je  $\bar{s}$  – prosečno pripremno-završno vreme radnih naloga koji su preostali za izvršenje,  $k_1$  je koeficijent skaliranja povezan sa vremenom isporuke, a  $k_2$  je koeficijent skaliranja povezan sa pripremno-završnim vremenima. Kako bi se odredili koeficijenti  $k_1$  i  $k_2$  potrebno je pre svega da se izračuna  $C_{max}$  prema formuli:

$$\hat{C}_{max} = \sum_{j=1}^n p_j + n\bar{s}$$

Zatim je potrebno odrediti  $R$  što predstavlja faktor opsega rokova isporuke, a izračunava se prema formuli:

$$R = \frac{d_{max} - d_{min}}{C_{max}}$$

gde su  $d_{max}$  i  $d_{min}$  maksimalno i minimalno vreme isporuke. Na osnovu prethodnih formula moguće je izračunati  $k_1$  i to na osnovu sledećeg pravila:

$$k_1 = 4,5 + R, \text{ ukoliko je } R \leq 0.5 \text{ ili}$$

$$k_2 = 6 - 2R \text{ ukoliko je } R \geq 0.5.$$

Koeficijent  $k_2$  se određuje na osnovu sledeće formule:

$$k_2 = \tau/2\sqrt{\bar{\eta}}$$

gde je  $\tau$  faktor roka isporuke i računa se prema formuli:

$$\tau = 1 - \frac{\bar{d}}{C_{max}}$$

#### Pravila koja ne uključuju ni vreme trajanja operacija ni vreme isporuke

FCFS (eng. *First Come First Served*) - Prvi radni nalog koji dolazi u sistem prvi i bude realizovan.

$$\min r_{O_i}$$

gde je  $r_{O_i}$  vreme dolaska radnog naloga na operaciju (a  $O$  je brojač za tekuću operaciju). Prioritet se daje onom radnom nalogu koji najduže čeka na tekuću operaciju.

Što se tiče heurističkih pravila, najvažnije su one koje se tiču prevazilaženja problema uskih grla u procesima (eng. *Shifting bottleneck*). Primenjujući osnovno pravilo premeštanja uskih grla (eng. *General SB Routine*) se sprovodi u nekoliko iteracija i rešava se redom jedan po jedan problem uskih grla kako algoritam naiđe na mašinu gde postoji problem. Postoje i pravila premeštanja uskih grla prema nekoj unapred definisanoj funkciji kriterijuma (eng. *Objectiv Specific Routine*). Neki od njih za kriterijum koriste ukupno kašnjenje sa ili bez težinskog koeficijenta (SB/sum(wT) ili SB/sumT) i primenjuje se kod jednostavnijih problema raspoređivanja. Drugi koriste pored ukupnog kašnjenja i kriterijum ukupnog vremena obrade svih radnih naloga (SB/T<sub>max</sub>). Takođe se koriste i heuristike lokalnog pretraživanja (eng. *Local search Heuristic*) koje se zasnivaju na kombinaciji iterativnog lokalnog pretraživanja boljih rasporeda radnih naloga.

Kompleksne i matematički zasnovane metode koje se koriste u terminskom planiranju zahtevaju poprilično visok nivo i obim znanja, ali se ne može od svake osobe uključene u terminsko planiranje očekivati da ima takvu ekspertizu (Buchmeister, 2013). Stoga se često dešava da takve metode budu neupotrebljive i teško razumljive za menadžere pa iz tog razloga nemaju poverenja da ih primenjuju i oslone se na te rezultate. U periodu masovne proizvodnje, preduzeća su bila usmerena na maksimiziranje produktivnosti tehnoloških sistema i rukovodilac proizvodnje je vodio računa o planovima proizvodnje, koordinirao je sve aktivnosti potrebne za proizvodnju ograničenog broja proizvoda za koje je bio zadužen.

Produktivnost je kvantitativni izraz koji omogućava razmatranje koliko dobro su proizvodni faktori upotrebljeni i ona se kategorizuje u skladu sa individualnim proizvodnim faktorima (produktivnost mašine, produktivnost radnika) (Edtmayr, 2011). Formula za računanje



produktivnosti je vrlo jednostavna i da bi se dobili podaci o produktivnosti dovoljno je sa se izlaz podeli sa ulazom, odnosno onim što je u proces uloženo. S jedne strane, produktivnost se povećava povećanjem efektivnosti kroz eliminaciju aktivnosti koje su pogrešne i potenciranjem izvršavanja dobrih aktivnosti, a sa druge strane dobrim uravnoteženjem i iskorišćenjem kapaciteta.

Međutim kako su preduzeća počela da povećavaju broj različitih vrsta proizvoda, to je polako dovodilo do posložnjavanja sistema i rukovodilac više nije mogao da upravlja svim aktivnostima, jednostavno i samostalno. Akcenat se umesto na vreme, počeo stavljati na troškove tako da je ekonomija obima trebala biti postignuta dobrim rutiranjem delova između funkcionalnih celina u preduzeću, smanjivanjem broja potrebnih mašina koje trebaju biti nabavljene. Pri tome treba voditi računa da nije uvek primarni cilj smanjiti troškove, nego ih smanjivati na način da se obezbedi povećanje produktivnosti preduzeća (Rayburn, 1989). Menadžment je preuzeo odgovornost da upravlja tom kompleksnošću koja se pojavila u proizvodnim sistemima, a planeri su preuzeli odgovornost da raspoređuju i koordiniraju aktivnosti, tako da je uloga rukovodioca proizvodnje značajno oslabila.

Tradicionalno, pravila raspoređivanja su se formirala na osnovu vremena obrade, operativnih vremena ili redosleda čekanja, dok je model terminskog planiranja razvijen kako bi se uzeli u obzir i eksterni faktori kao što je rok isporuke, interni faktori kao što su raspoloživi kapaciteti i faktori uticaja, kao što je status nekog radnog naloga (Green & Appel, 1981). Sva tradicionalna i teorijska pravila su visoko rangirana i veoma efikasno se primenjuju u praksi. Ali uvek ostaje pitanje upravljanja proizvodnjom i rasporedom radnih naloga u turbulentnom okruženju kad se zahtevi kupaca stalno menjaju i da li se u tim situacijama podleže pritisku ili se poštuju organizaciona pravila.

Svako preduzeće u okviru svog poslovanja ima izgrađen sistem rangiranja kupaca u skladu sa unapred definisanim kriterijumima i u skladu sa tim rangom, se dodeljuje stepen značajnosti radnim nalogima, što se uzima u obzir prilikom izbora pravila raspoređivanja. Međutim, treba voditi računa da se troškovi držanja različitih poslova na čekanju u jedinici vremena ipak razlikuju (Jayamohan & Rajendran, 2004) tako da taj faktor mora takođe biti uključen u izbor pravila. Neka pravila raspoređivanja zahtevaju veliku količinu informacija i prioritet radnih naloga bi trebao da se preračuna pre svake posebne odluke koja se donosi na osnovu informacija koje su u tom trenutku dostupne.

Stohastičko pristizanje porudžbina i jedinstveno rutiranje operacija u skladu sa porudžbinom može izazvati veoma nepravilno opterećenje kapaciteta koje dovodi do vremenskih odstupanja u toku procesa i odstupanja u rokovima isporuke. Ali korišćenjem odgovarajućih pravila utvrđivanja redosleda operacija, može se smanjiti odstupanje u vremenima trajanja

kompletnog proizvodnog procesa, obezbediti ostvarivanje internih planova kao i poštovanje rokova isporuke. Kako bi se ovaj proces terminskog planiranja uredio, potrebno je primeniti i određene principe *lean* proizvodnje, jer se na taj način mogu prevazići mnogi problem koji su ovde identifikovani. Na primer, *pull* proizvodnja i terminsko planiranje u *lean* okruženju se odvija tako što se čeka da se neka mašina oslobodi i onda se bira sledeći radni nalog koristeći određeno pravilo raspoređivanja prema unapred zadatom kriterijumu (Green & Appel, 1981). Kvalitet terminskog plana se može ocenjivati pomoću različitih kriterijuma (Buchmeister, 2013).

Kako bi se dobijene opcije terminskih planova mogle porediti u smislu koliko su blisko optimalnom rešenju i kako bi se mogao evaluirati kvalitet dobijenih planova, postoje različite tzv. kriterijumske funkcije. U nastavku će biti navede neke od funkcija kriterijuma koje će kasnije biti korišćene u obradi rezultata istraživanja i cilje je minimizovati svaku od navedenih funkcija. Prva u nizu je *Makespan* ( $C_{max}$ ) koja posmatra vreme obrade svih proizvoda odnosno vreme kada je poslednja operacija na poslednjem proizvodu završena:

$$C_{max} = \max_j(C_j)$$

gde  $C_j$  predstavlja završetak obrade za  $j$ -ti proizvod.

Sledeća funkcija kriterijuma se odnosi na maksimalno kašnjenje, što podrazumeva pozitivnu razliku između vremena stvarnog završetka obrade i vremenskog roka kada se očekuje završetak obrate. Ova funkcija se naziva *The Maximum Tardiness* i označava se sa  $T_{max}$ , a računa pomoću formule:

$$T_j = C_j - d_j$$

*Total number of late jobs* je funkcija kriterijuma koja se odnosi na ukupan broj proizvoda koji su u zakašnjenju i formula glasi (ukoliko  $j$ -ti proizvod kasni onda je vrednos  $U_j$  jednaka 1, a u suprotnom je nula):

$$\min \sum_{j=1}^n U_j$$

*The Total Flow Time* je funkcija koja posmatra zbir vremena završetka svih proizvoda:

$$\sum_{j=1}^n C_j$$

a *The Total Tardiness* zbir kašnjenja svih proizvoda:

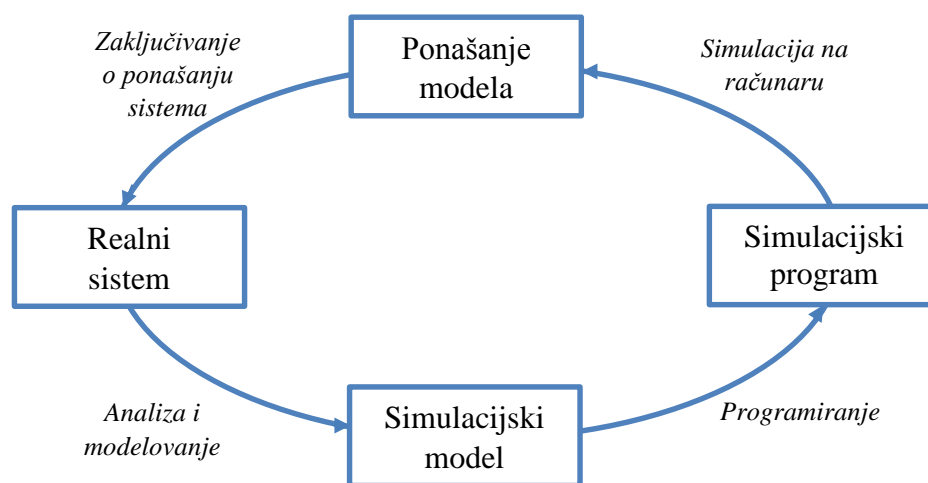
$$\sum_{j=1}^n T_j$$

## 2.6 MODELOVANJE I SIMULACIJE POSLOVNIH PROCESA

Optimizacija i dobra organizacija proizvodnih i poslovnih procesa dovodi do minimizacije troškova i povećanja prihoda, te stoga treba naći najefikasniji alat i metod da se to postigne. S obzirom da su svi proizvodni i uslužni sistemi dinamičke prirode, nije ih moguće uvek i u potpunosti modelovati analitičkim tehnikama. Naime, metode modelovanja se mogu podeliti prema rastućoj složenosti sistema, odnosno problema koji se rešava, pa tako postoje (Čerić, 1993; Cerjaković, 2008):

1. Analitičko modelovanje – opis modela i rešenje problema je u analitičkom obliku (algebarske, diferencijalne jednačine) odnosno funkcijske veze zavisnih od nezavisnih varijabli,
2. Numeričke metode – model se opisuje u analitičkom obliku, ali se zbog nemogućnosti pronalaženja analitičkog rešenja primenjuju numerički postupci odnosno pronalaženje parova vrednosti zavisnih i nezavisnih varijabli koji zadovoljavaju zadate jednačine modela i
3. Simulacioni modeli – zbog nemogućnosti prikaza složenih dinamičkih problema u analitičkom obliku, modeli se zadaju u proceduralnom obliku kojim se prikazuje način rada sistema.

Modelovanje pojednostavljuje proces prikazivanja, analize i ocene performansi jednog proizvodnog sistema. Modelima se može pokriti širok spektar pitanja koja se odnose na projektovanje i funkcionisanje proizvodnih sistema. Modelovanje je proces koji je blisko povezan sa načinom ljudskog razmišljanja i na slici 16 su prikazane komponente simulacijskog modelovanja (Čerić, 1993).



Slika 16. Komponente simulacijskog modelovanja

Uz pomoć simulacionih tehnika, razumevanje proizvodnih sistema može značajno biti povećano i alternativna rešenja mogu biti testirana. U današnjem realnom okruženju, simulacija je našla mnoge oblasti primene. Jedna od najjednostavnijih definicija opisuje simulaciju kao upotrebu matematičkih/logičkih modela kao sredstava za dobijanje odgovora o posmatranom sistemu (Čerić, 1993). Simulacija se može definisati i kao imitiranje nekog realnog procesa u toku vremena rada realnog sistema i nakon njega. Simulacijski proces se sastoji od tri faze i nekoliko koraka u okviru svake faze (Fowler & Rose, 2004):

1. Faza dizajna modela (identifikacija problema, planiranje projekta i razvoj konceptualnog modela),
2. Faza razvoja (izbor prilaza modelovanju, izgradnja i testiranje modela, verifikacija i validacija modela) i
3. Faza stavljanja simulacionog modela u funkciju (eksperimentisanje sa modelom, analiza rezultata i implementacija rezultata u proces donošenja odluka).

Čerić ističe da je identifikacija problema ujedno i definisanje cilja i svrhe simulacione studije (Čerić, 1993). U okviru identifikacije sistema potrebno je dobro opisati njegove komponente, njihovu interakciju, način rada i veze sa okolinom i prikupiti i analizirati sve relevantne podatke o sistemu. Konceptualni model mora verodostojno opisati relani sistem i simulacioni model se gradi pomoću nekog simulacijskog programa na osnovama konceptualnog modela. Verifikacija podrazumeva testiranje simulacionog programa u podnosu prema postavkama na kojima je zasnovan simulacioni modela, dok validacija ili vrednovanje podrazumeva ispitivanje usmereno na to da li simulacioni model odgovara realnom sistemu. Planiranje simulacionih eksperimenata zapravo omogućava ispunjenje postavljenog cilja simulacione studije, a nakon toga se izvode simulacioni eksperimenti.

Simulacija je jedno od mogućih i dobrih rešenja, jer se vrednovanje i analiza dinamike i logike rada sistema postiže imitacijom procesa rada, a ne primenom u realnom sistemu. U prilog ovome ide i to da se simulacija izvodi u potpuno kontrolisanim uslovima, za razliku od drugih eksperimenata sa realnim sistemom gde nije moguće uticati na promene koje nastaju iz okruženja. U simulacijskom okruženju, svi parametri su pod potpunom kontrolom i mogu se jednostavno pratiti.

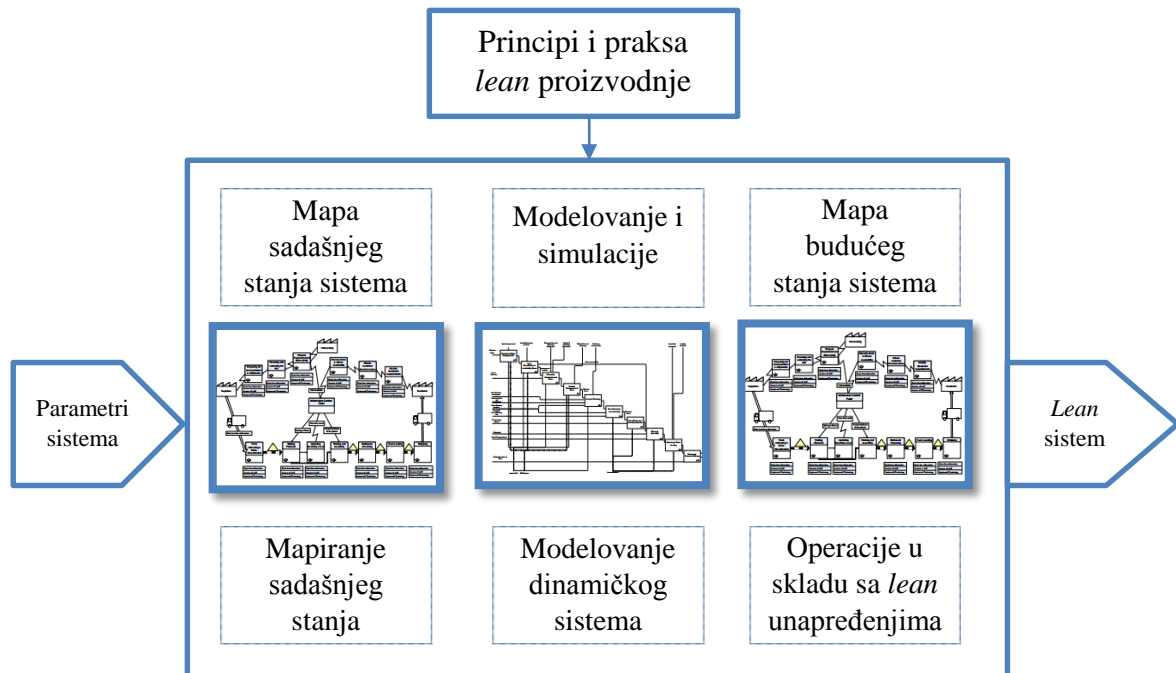
Modelovanje i simulacije su, generalno, samo još jedan od prilaza za projektovanje i reinženjering proizvodnih sistema i njihovo unapređenje, koji omogućava menadžmentu preduzeća prezentovanje mogućih rešenja uz istovremeni prikaz kako će se ta unapređenja odraziti na sistem. Ali razlika između simulacija i recimo *lean* proizvodnje, je što simulacije same po sebi ne unapređuju performanse sistema, nego su komplementarne sa ostalim

prilazima unapređenja proizvodnje i unapređuju proces donošenja odluka. Naime, u poglavlju koje je bilo posvećeno *lean* implementaciji, istaknuto je da je jedan od glavnih problema i otpora implementaciji *lean* proizvodnje to što menadžment preduzeća ne zna šta da očekuje od predloženih mera unapređenja i kako će to da utiče na performanse sistema i kako će sistem uopšte posle implementacije da funkcioniše. Posebno je ovo problem zbog nedostatka kvantifikovanih i merljivih rezultata. Međutim, dostupnost informacija koje simulacija obezbeđuje, može da podrži i validira odluke o implementaciji *lean* proizvodnje i takođe može da motiviše preduzeća u toku implementacije da stignu do željenih rezultata za koje je simulacija pokazala da su mogući.

Simulacije su praktična metodologija koja obezbeđuje razumevanje dinamike kompleksnih proizvodnih sistema i ima nekoliko važnih prednosti (Fowler & Rose, 2004; Yucesan & Fowler, 2000). Najznačajniji doprinos simulacije jeste njen uticaj na skraćanje vremena, jer se kroz simulaciju, u veoma kratkom roku, može dobiti veliki broj različitih scenarija i predvideti ponašanje sistema za duži vremenski period. Kako će se ostvariti interakcija komponenti sistema, posebno u kompleksnijim organizacijama, je veliki izazov i rizik za preduzeća ako započnu integraciju, bez da znaju kako će to zaista da funkcioniše. Kako integracija komponenti sistema spada u kategoriju strateških odluka, simulacija i ovde pokazuje svoje prednosti, jer predstavlja pre svega jeftinije rešenje i značajno smanjuje rizik neuspeha. Ponovljivost koju simulacija omogućava, daje uvid u ponašanje različitih sistema u istom okruženju ili istog sistema u različitim okruženjima.

Kada je u okviru ove disertacije bilo reči o mapiranju toka vrednosti, navedeno je da je to alat za vizualizaciju aktivnosti, kao i to da se kreira prvo sadašnje stanje sistema i onda uz određena unapređenja, predlaže se buduće stanje toka vrednosti. Isto tako je istaknuto, da je mapiranje toka vrednosti ipak statički alat, da treba dosta vremena da se generiše buduće stanje, a u međuvremenu neki parametri mogu da se promene. S obzirom na statičku prirodu, mapiranje budućeg stanja teško daje odgovor na primer na pitanje kako će se nivo zaliha kretati u zavisnosti od primene različitih scenarija (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

Međutim, modelovanje i simulacije mogu da posluže kao “most” između trenutnog i budućeg stanja ili kako su u svom radu Mahfouz, Crowe i Ariha to nazvali integrativnim nivoom (slika 17) između ova sva stanja toka vrednosti (Mahfouz et al., 2011). Simulacije obogučavaju generisanje zahteva za resursima i nude različite statistike vezane za performanse, dok zadržavaju fleksibilnost za specifične organizacione detalje (Abdulmalek & Rajgopal, 2007). Takođe, može se koristiti za upravljanje neizvesnostima i da kreira dinamički pogleda na nivo zaliha, vreme trajanja procesa i optimizaciju kapaciteta za različite mape budućeg stanja sistema.



Slika 17. Položaj modelovanja i simulacija u mapiranju toka vrednosti

*Lean* i simulacija imaju sličnu motivaciju, a to je unapređenje procesa sa ciljem povećanja produktivnosti, smanjenja troškova, poboljšanja proizvoda/usluge i unapređenja upravljanja procesima rada u industrijskim sistemima. Simulacija u okviru strategije *lean* proizvodnje može biti korišćena da se identifikuju problemi u proizvodnji ili drugim procesima, za trening radnika kako da obavljaju svoje zadatke, za rangiranje različitih mogućnosti za unapređenje procesa, dokumentovanje procesa i predviđanje uticaja koje će imati usvojena unapređenja pre same implementacije (Adams et al., 1999). To znači da se simulacija može posmatrati i kao alat koji pomaže u uštedi troškova, jer upotreba simulacionog modela pomaže menadžerima da vide efekte pre same implementacije i bez troškova uloženi u implementaciju i kao alat za trening, a u kombinaciji sa mapiranjem toka vrednosti procesa ubrzava se faza adaptacije i smanjuje otpor radne snage ka promenama (Lian and Van Landeghem, 2007).

Međutim simulacioni modeli su evaluativni, odnosno umesto da ponude konkretno optimalno rešenje, simulacioni modeli procenjuju postavljeni skup varijabli, ali ne mogu da optimizuju proizvodni proces. Za donosioce odluka, proces pronalaženja dovoljno dobrih vrednosti parametara koje bi ugradili u sistem zahteva dosta vremena i u većini slučajeva je taj proces nemoguć, posebno u situacijama gde je prostor za istraživanje ogroman (Ng et al., 2011). Optimizacija zasnovana na simulaciji je relativno nova tehnika koja traži optimalnu postavku parametara kompleksnog sistema zasnovanog na jednoj ili više mera performansi proizvedenih iz simulacije pomoću različitih istraživačkih metodologija. Optimizacija

zasnovana na simulacijama je tehnologija koja pruža ogromne potencijale za rešavanje realnih problema i uspešno se primenjuje u mnogim oblastima (April et al., 2004).

Bez obzira da li se simulacija izvodi ručno ili pomoću računara, ona podrazumeva generisanje veštačke istorije sistema čijom analizom se dobijaju informacije koje se tiču realnog sistema. Iako simulacija diskretnih događaja ima jaku i uspustavljenu osnovu, ipak je proizvodna industrija nedovoljno uspešna u primeni simulacija kao alata za podršku odlučivanju (McNally & Heavey, 2004). Međutim poslednjih godina je primećeno intenziviranje upotrebe simulacionog modelovanja prilikom implementacije *lean*-a i ocene parametara procesa, prvenstveno sa ciljem identifikacije parametara uključenih u proizvodni proces, istraživanja različitih mogućnosti za unapređenje procesa i predviđanja uticaja koje će te promene izazvati, a možda i najvažnije smanjenje rizika povezanog sa implementacijom (Mahfouz et al., 2011).

Jedno detaljno istraživanje literature je pokazalo značajan porast simulacionih studija i empirijskih istraživanja, što može biti povezano sa povećanjem svesti o koristima simulacija, kao i povećanoj dostupnosti simulacijskih softvera (Jahangirian et al., 2010). Od kako se simulacije nalaze u primeni u području proizvodnih i poslovnih procesa (poslednjih 60 godina), može se identifikovati širok spektar uspešnih primera primene kako u oblasti projektovanja i reinženjeringa proizvodnih sistema, tako i u području planiranja, upravljanja, alokacije resursa, kreiranja strategija preduzeća i slično.

Pored niza prednosti primene modelovanja i simulacija, kao što su mogućnost opisa složenih i dinamičkih problema sa slučajnim varijablama koje nije moguće matematički rešiti, široko područje primene u smislu raznovrsnosti problema, kontrolisani uslovi eksperimentisanja, postoji i nekoliko identifikovanih nedostataka (Čerić, 1993). Pre svega, razvoj modela je dug i skup proces, vrednovanje modela je dosta složen proces, statistički karakter simulacije zahteva dosta vremena koje se troši na ponavljanje eksperimenata i što je najznačajnije sama simulacija ne daje optimalno rešenje nego opet mora da se izvrši izbor između nekoliko mogućih rešenja. Iako su simulacije pretežno računarski podržane, ono što može biti "kamen spoticanja" je greška pri unosu podataka i sistem takve greške nije u mogućnosti da identifikuje i upozori korisnika na njih.

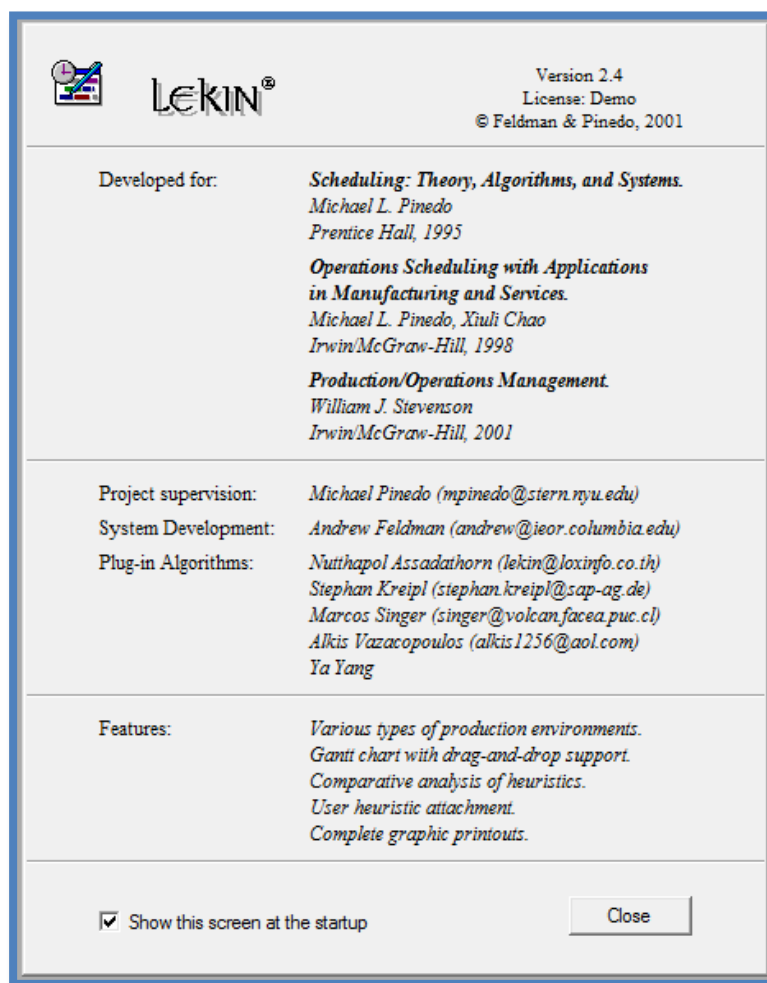
## 2.7 SOFTVERI

U okviru ovog poglavlja biće prikazane osnovne karakteristike softvera koji su korišćeni za obradu podataka u istraživačkom delu ove disertacije.

### 2.7.1 Softver LEKIN

Od polovine prošlog veka, dosta se radilo na razvoju sistema koji će podržati proces terminskog planiranja i raspoređivanja radnih naloga i tokom tog perioda razvijeno je preko 100 takvih sistema koji imaju primenu kako u akademske svrhe tako i u industriji. Uloga softvera čiji je cilj da unaprede terminsko planiranje je vrlo kompleksna i ovi sistemi uključuju računarske algoritme koji koriste teorijske rezultate i napredne tehnike optimizacije (Buchmeister, 2013).

Softver LEKIN je razvijen na Univerzitetu u Njujorku od strane grupe istraživača sa poslovne škole Stern pod nadzorom Majkla Pineda (Pinedo, 2005).

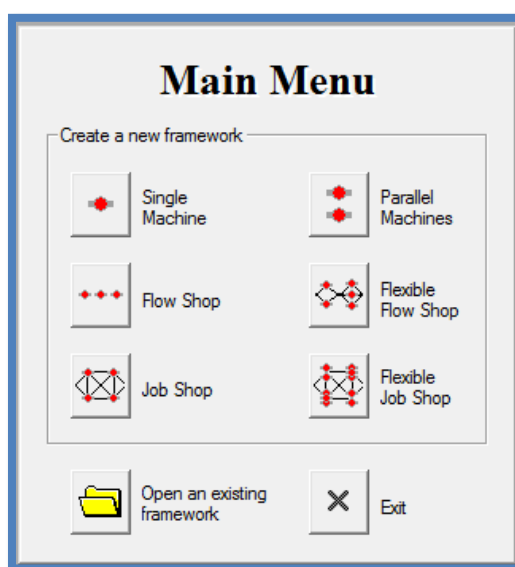


Slika 18. Osnovni podaci o softveru



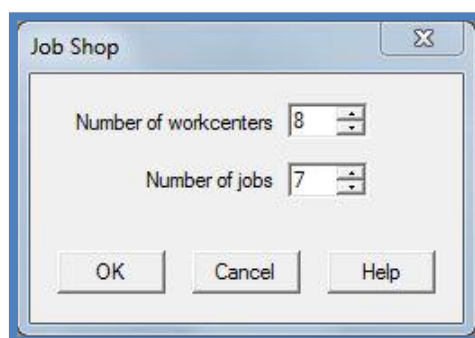
LEKIN je interaktivni softver za raspoređivanje radnih naloga u proizvodnom okruženju i idealan je za istraživanja i primenu u akademske svrhe. U nastavku su opisani osnovni koraci u korišćenju LEKIN softvera:

- Opis sistema i definisanje problema terminiranja (slika 19). Moguće je problem opisati u okvirima 6 ponuđenih opcija, u zavisnosti da li je u pitanju sistem sa jednom mašinom, sa paralelnim mašinama, problem raspoređivanja  $n$  radnih naloga na  $m$  mašina sa istom ili različitom putanjom radnog naloga ili u slučaju fleksibilnog sistema gde je moguće da u jednom radnom centru bude više mašina.



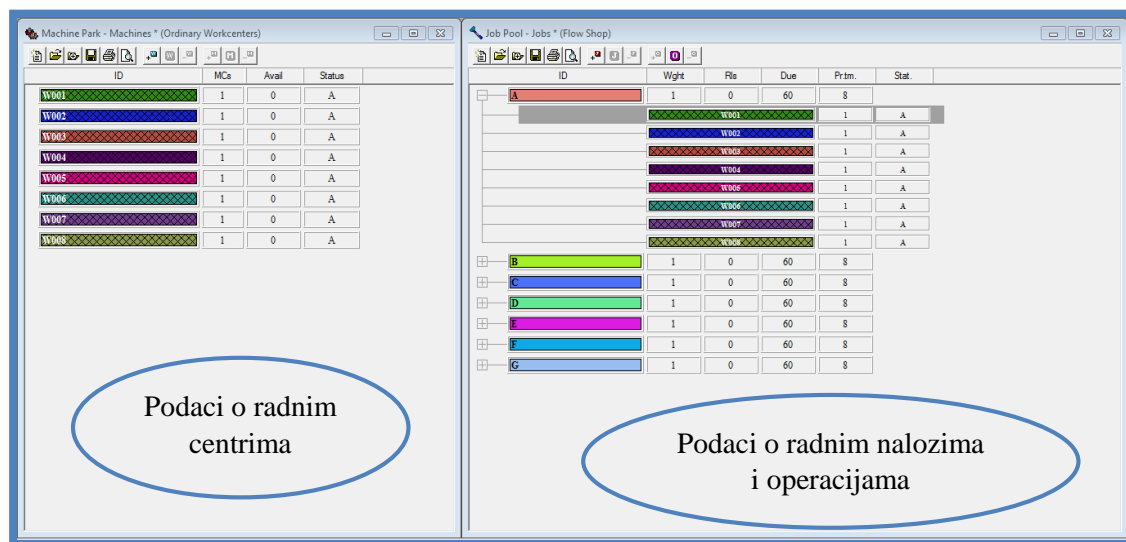
Slika 19. Moguće opcije za izbor proizvodnog okruženja

- Unos podataka o mašinama (tehnološkim sistemima, radnim centrima) i radnim nalogima. U ovom primeru, koji je samo radi demonstracije grafičkog interfejsa i načina unosa podataka prikazan, izabran je problem rasporeda 7 radnih naloga na 8 radnih centara, odnosno isti toliki broj mašina i svaki radni nalog u ovom slučaju ima različit tehnološki postupak i različite putanje (slika 20)



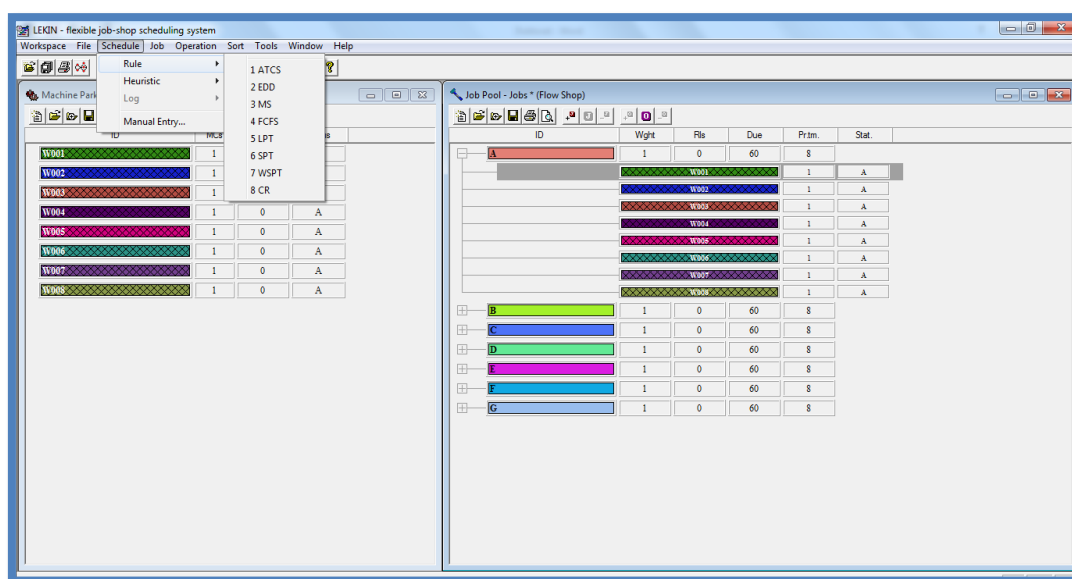
Slika 20. Ekranska forma za definisanje broja radnih centara i broja radnih naloga

Na slici 21 se može videti koji podaci o radnim centrima (naziv radnog centra, broj mašina u radnom centru, njegov status u smislu da li je raspoloživ ili ako nije kada će biti) i radnim nalogima (stepen značajnosti, odnosno težinski koeficijent, zatim vreme kada će radni nalog biti raspoloživ za obradu, zahtevani rok isporuke, vreme obrade) je moguće zadati. Zatim se za svaki radni nalog unose podaci o vremenima trajanja operacija na odgovarajućim mašinama i definiše se redosled operacija u skladu sa tehnološkim postupkom.



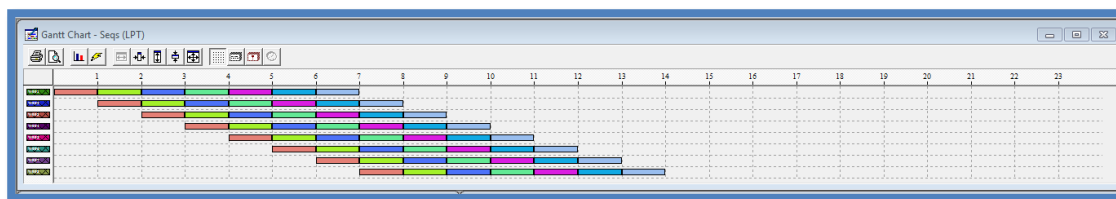
Slika 21. Ekranska forma za unos podataka o radnim centrima i radnim nalogima

- Izbor pravila raspoređivanja koje će biti primenjeno ili definisanje heurističkog pravila i generisanje terminskog plana (slika 22). Kada su svi podaci uneseni, onda se primenjuje neko od pravila raspoređivanja koje je u skladu sa prethodno definisanom funkcijom cilja.



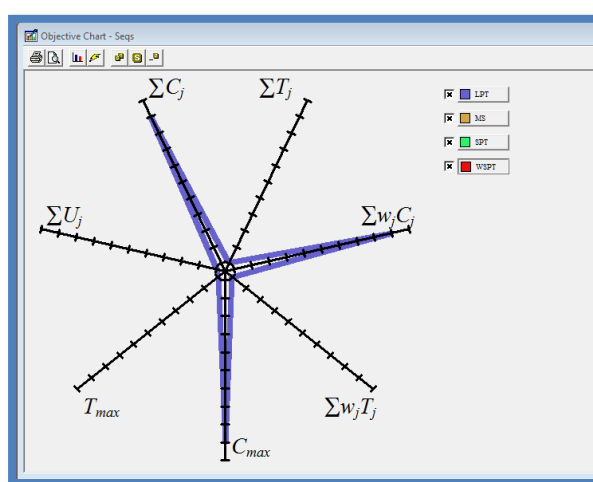
Slika 22. Izbor pravila raspoređivanja

Kao rezultat primenjenog pravila konačno se dobija terminski plan kao što je prikazano na slici 23.



Slika 23. Terminski plan (Gantov dijagram)

Ovaj softver takođe nudi mogućnost poređenja različitih parametara u skladu sa definisanim ciljevima (što značajno olakšava proces donošenja odluka pri izboru) i bira se ona varijanta koja zadovoljava najviše postavljenih kriterijuma (slika 24).



Slika 24. Grafik postavljene funkcije cilja

Sistem sadrži određen broj unapred definisanih algoritama za nekoliko različitih proizvodnih okruženja i funkcija cilja. Dobra strana softvera je to što je dozvoljen razvoj i testiranje novih algoritama za raspoređivanje u interaktivnom okruženju.

Važno je pomenuti još i to da svi podaci koji se unose u LEKIN su determinističke prirode, nikako stohastičke. Vreme trajanja operacije uvek mora da bude pozitivno, tj. veće od nule. Generalno, postoje dve vrste podataka (Buchmeister, 2013): statički podaci koji ne zavise od plana i dinamički koji su zavisni. Neki od statičkih podataka su: broj mašina, podaci o njima i raspored, zatim rokovi isporuke (eng. *due date*), vreme kada je radni nalog raspoloživ za procesuiranje (eng. *release date*), poručena količina proizvoda i težinski koeficijent koji se pridružuje random nalogu (eng. *weight of job*). Dinamički podaci su vreme početka i završetka obrade radnog naloga, redosled radnih naloga, broj radnih naloga koji su u kašnjenju i slično.

### 2.7.2 Softver Cost-Time Profiler

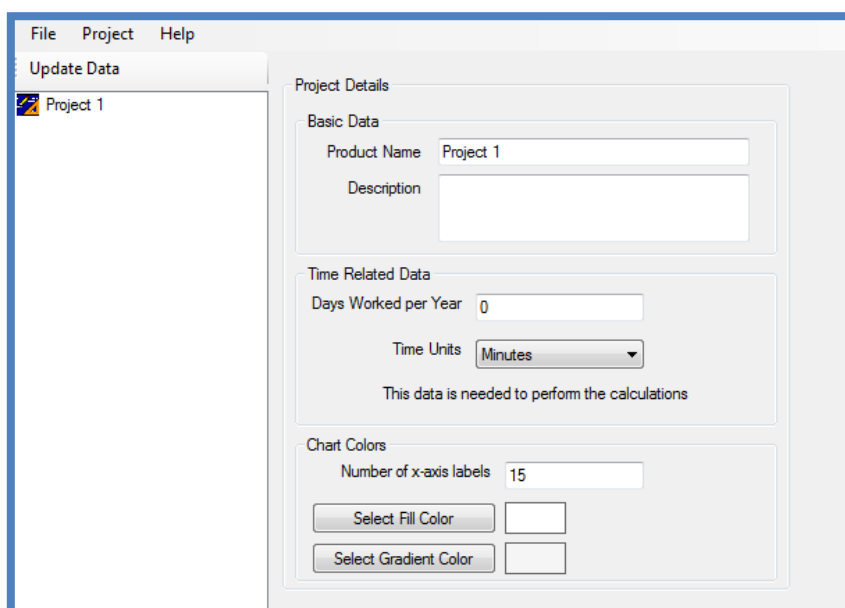
Cost-Time Profiler je specifičan alat koji je razvijen da olakša proces prikupljanja podataka, proračuna i crtanja grafičkog prikaza vremensko-troškovnog profila (Rivera, 2006). Softver je razvijen od strane grupe istraživača sa Univerziteta u Virdžiniji (slika 25).



Slika 25. Osnovni podaci o softveru

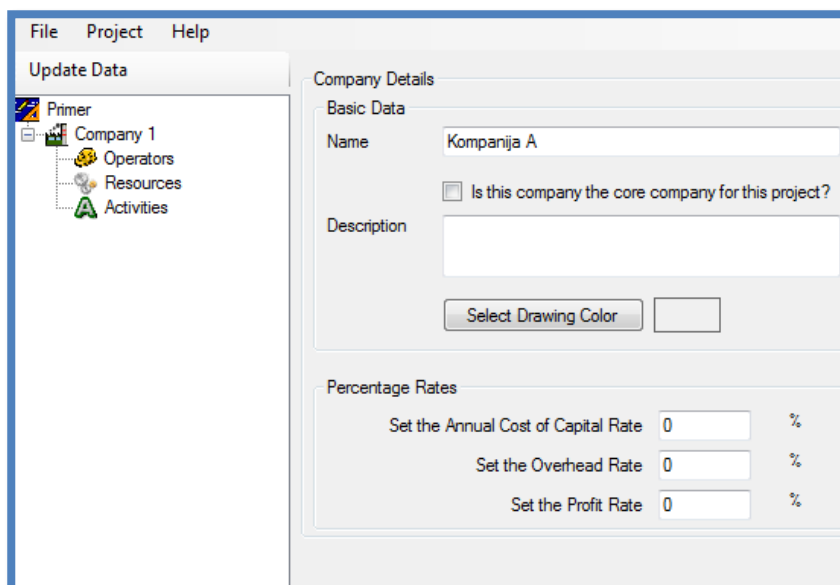
Softver nije moguće preuzeti sa interneta, ali za potrebe istraživanja u okviru ove disertacije instalacija za softver je dobijena direktno sa Univerziteta u Virdžiniji uz dozvolu za korišćenje i objavljivanje rezultata. Ovaj softver je prvenstveno bio namenjen za analizu vremensko-troškovnog profila u jednom preduzeću, međutim ovaj model je proširen za slučajeve kada su operacije preduzeća podeljene između više različitih preduzeća. Softver je izgrađen na *Java* platformi, ali zbog razvoja grafičkog interfejsa prebačen i kompletno se koristi na platformi *Microsoft.NET Framework 2.0*. Postoje dve opcije koje nudi softver a to su računanje izračuna vremensko-troškovnog ulaganja i kreiranje vremensko-troškovnog profila (opcija koja je korišćena u ovoj disertaciji) i druga opcija je kreiranje i eksportovanje fajla sa podacima koji služi dalje za optimizaciju rasporeda.

Forme za unos podataka o troškovima su prilagođene potrebama obračuna troškova na osnovu toka vrednosti, što znači da se posmatraju samo direktni troškovi. Prvo se definiše naziv projekta, kratak opis, a nakon toga se definiše broj radnih dana u godini preduzeća za koje je projekat vezan, kao i vremenska jedinica relevantna za sve podatke koji se unose u sistem. Nakon toga definišu se i detalji vezani za izgled dijagrama vremensko-troškovnog profila (slika 26) u smislu nivoa detaljnosti vremenskih jedinica koje će biti prikazane na dijagramu.



Slika 26. Ekranska forma za unos osnovnih podataka o projektu

Kada su definisani osnovni podaci o projektu, onda se unose podaci o konkretnom preduzeću uz obaveznu napomenu da li je to glavno preduzeće u projektu ili je u pitanju neko povezano preduzeće, jer je već rečeno da softver podržava i obradu podataka kada neke operacije obavlja drugo preduzeće.



Slika 27. Ekranska forma za unos podataka o preduzeću

U sledećim koracima se prelazi na unošenje konkretnih podataka o radnicima i njihovoj visini dnevnice, zatim podaci o mašinama uključujući vreme rada na dnevnom nivou, kao i nabavnu vrednost, troškove održavanja i životni vek u cilju računanja svih direktnih troškova povezanih sa mašinama (slike 28 i 29).

The screenshot shows a software window with a menu bar (File, Project, Help) and a tree view on the left under 'Update Data'. The tree view shows a hierarchy: Primer > Kompanija A > Operators > Operator 1. The main area is titled 'Operator Details' and contains three input fields: 'Name' with the value 'Radnik 1', 'Description' (empty), and 'Hourly Rate' with the value '5'.

Slika 28. Ekranska forma – podaci o radniku

The screenshot shows a software window with a menu bar (File, Project, Help) and a tree view on the left under 'Update Data'. The tree view shows a hierarchy: Primer > Kompanija A > Resources > Resource 1. The main area is titled 'Resource Details' and is divided into two sections. The 'Basic Data' section has 'Name' (Masina 1) and 'Description' (empty). The 'Cost Related Data' section has four fields: 'Life' (0.00 yrs), 'Maintenance Cost' (\$ 0.00 per year), 'Price' (\$ 0.00), and 'Daily Usage' (0.00 hrs).

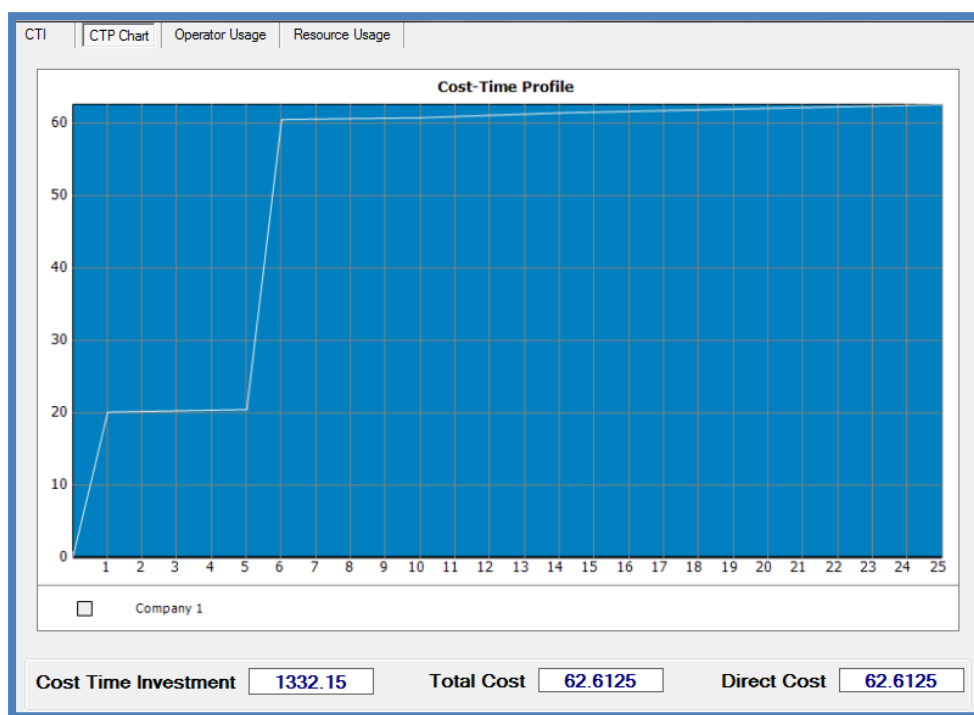
Slika 29. Ekranska forma – podaci o mašinama

Na kraju se unose podaci o aktivnostima, odnosno operacijama uključujući vreme početka i završetka aktivnosti, cenu materijala koji se koristi za tu aktivnosti, na kojoj mašini se izvodi i koji radnik je zadužen. Takođe, za svaku aktivnost je moguće definisati koja joj aktivnost prethodi (slika 30).

The screenshot shows a software window with a menu bar (File, Project, Help) and a tree view on the left under 'Update Data'. The tree view shows a hierarchy: Primer > Kompanija A > Activities > Activity 1. The main area is titled 'Activity Details' and contains several sections. The 'Basic Data' section has 'ID' (Activity 1), 'Description' (empty), and 'Materials Cost' (\$ 0.00). There is a checkbox for 'Is this a transportation activity done by a third party?'. The 'Time-Related Data' section has 'Start Time' (0), 'Duration' (0), '(Time Units)', and 'End Time' (-1). Below this are three tabs: 'Operators', 'Resources', and 'Predecessors'. The 'Operators' tab is active and shows two lists: 'Available Operators' containing 'Radnik 1' and an empty 'Selected Operators' list. Between the lists are four buttons: 'Select All', 'Select One', 'Deselect One', and 'Deselect All'.

Slika 30. Ekranska forma za unos podataka o aktivnostima

Nakon unosa svih potrebnih i raspoloživih podataka, softver na izlazu daje rezultate u vidu vremensko-troškovnog profila (slika 31) uz izračunate iznose direktnih troškova i vremensko-troškovnog ulaganja.



Slika 31. Vremensko-troškovni profil sa podacima

Takođe se dobija i proračun troškova za svaku aktivnost pojedinačno kao i akumulirani troškovi (slika 32), kao i prikaz iskorišćenja, odnosno zauzetosti radnika i mašina (slika 33).

Activity	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Aktivnost 1	20.09	0.09	0.09	0.09	0.09												
Aktivnost 2						40.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06			
Aktivnost 3											0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
<b>Company 1</b>																	
Cost	20.09	0.09	0.09	0.09	0.09	40.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.17	0.17	0.17	0.17	0.11	0.11	0.11
Accum Cost	20.09	20.18	20.27	20.36	20.45	60.51	60.58	60.64	60.70	60.76	60.93	61.10	61.27	61.44	61.55	61.65	61.76

Slika 32. Proračun troškova

Resou...	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Masina 1	█	█	█	█	█						█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Masina 2						█	█	█	█	█	█	█	█	█											

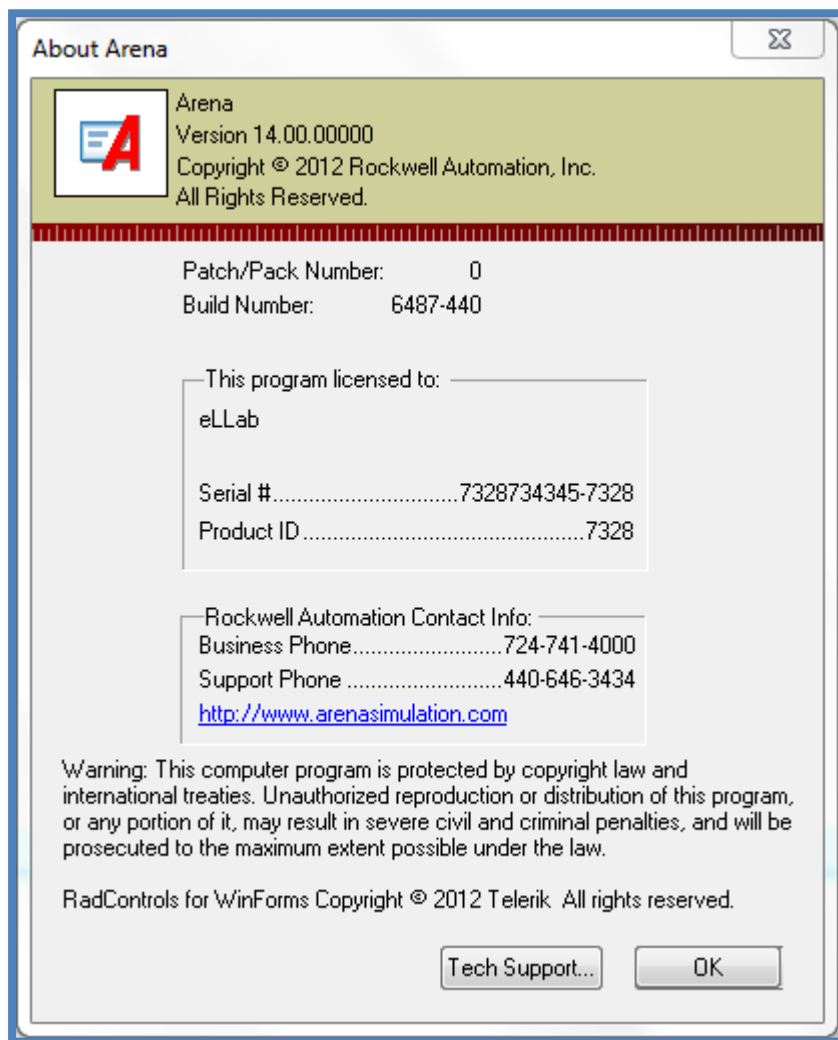
  

Operator	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Radnik 1	█	█	█	█	█																				
Radnik 2						█	█	█	█	█	█	█	█	█											
Radnik 3											█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Slika 33. Iskorišćenost radnika i mašina

### 2.7.3 Softver Arena

Izabrani simulacioni softver koji je korišćen u oblasti simulacije diskretnih događaja u ovom radu je Arena (akademska verzija 14.0) kompanije Rockwell Automation, Inc (slika 34).

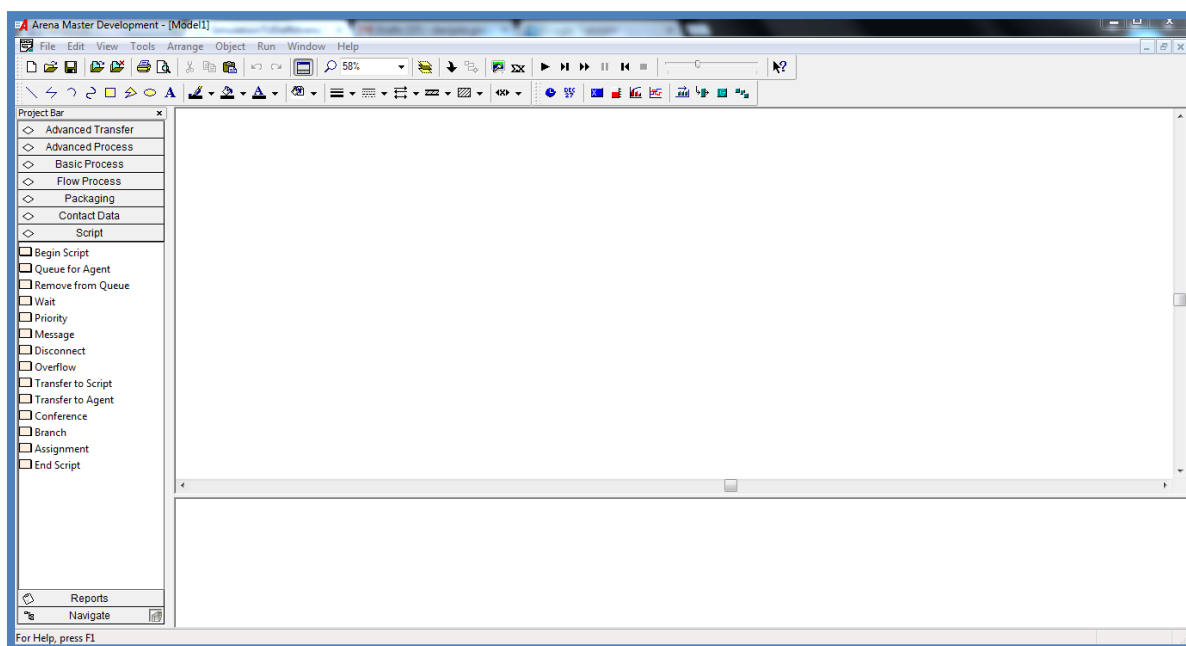


Slika 34. Informacije o softveru Arena

Arena spada u grupu softverskih alata za vizuelnu interaktivnu simulaciju. Vizuelna interaktivna simulacija predstavlja danas vodeću simulacionu paradigmu, koju karakterišu upotreba grafičkog korisničkog interfejsa i interaktivnog prilaza u svim fazama simulacionog projekta. Ovaj prilaz je popularan iz razloga što omogućuje intuitivno kreiranje modela i lakšu verifikaciju modela. A intuitivno u ovom slučaju znači da ovaj način modelovanja odgovara načinu na koji ljudi često predstavljaju sistem, a to je intuitivno. Ovaj softver je orijentisan ka tokovima, tj. ideja je da se realan sistem predstavi kao niz procesa kroz koji entiteti sistema prolaze. Pomoću programskog proizvoda Arena, korisnik može interaktivno razvijati model, kreirati animaciju sistema, izvršiti simulaciju, prikupiti izlazne podatke iz simulacije, kreirati i pogledati statističke izveštaje o dobijenim rezultatima.

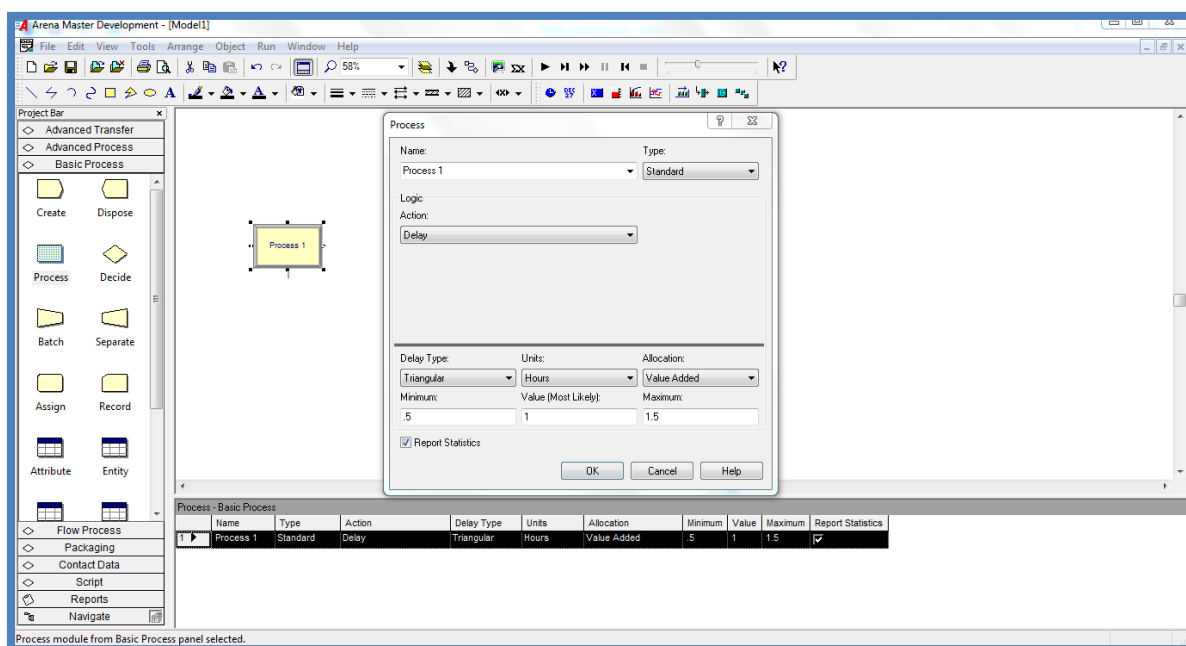


Iako je veoma fleksibilan i često upotrebljivan alat u ovoj oblasti, od korisnika se ipak zahteva određen stepen znanja iz oblasti modelovanja, kao i iskustva u upotrebi softvera iz ove kategorije. Kada se pokrene softver, dobija se ekranska forma prikazana na slici 35.



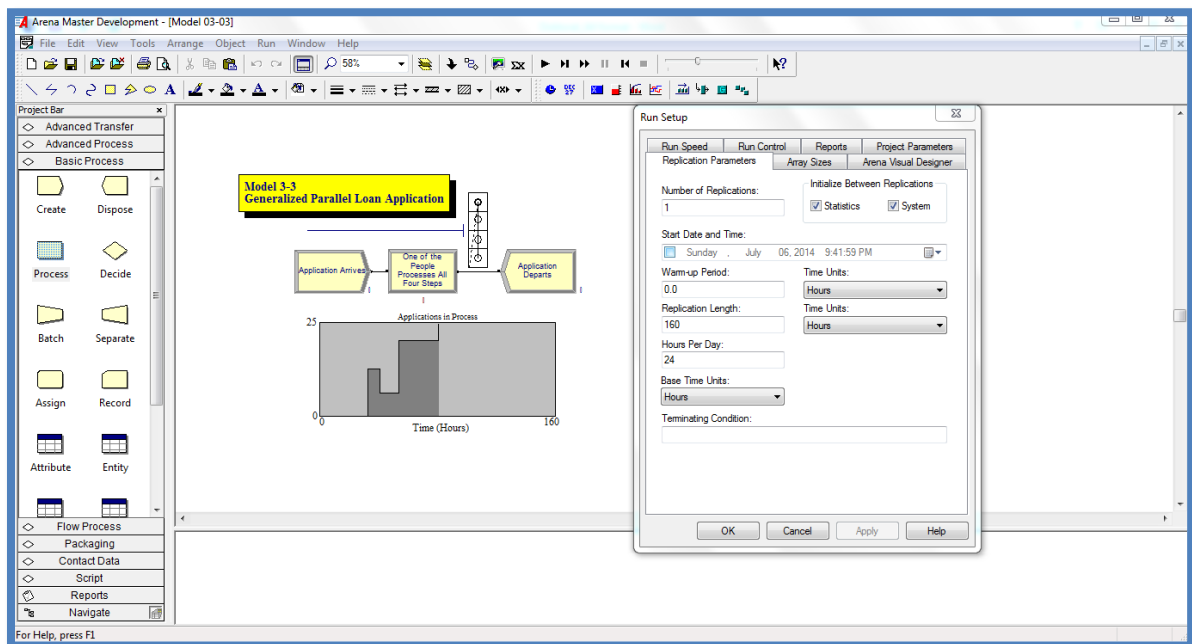
Slika 35. Početna ekranska forma

Model se kreira na beloj površini na desnoj strani, a za to se koriste alati i elementi modela koji se nalaze na levoj strani ove ekranske forme. Elementi modela se jednostavno ubacuju na desnu stranu, prostim prevlačenjem elemenata uz istovremeno definisanje svih parametara koji su nam poznati za taj element sistema (slika 36). Arena takođe uključuje analizu ulaznih podataka putem modula *Input analyzer*.



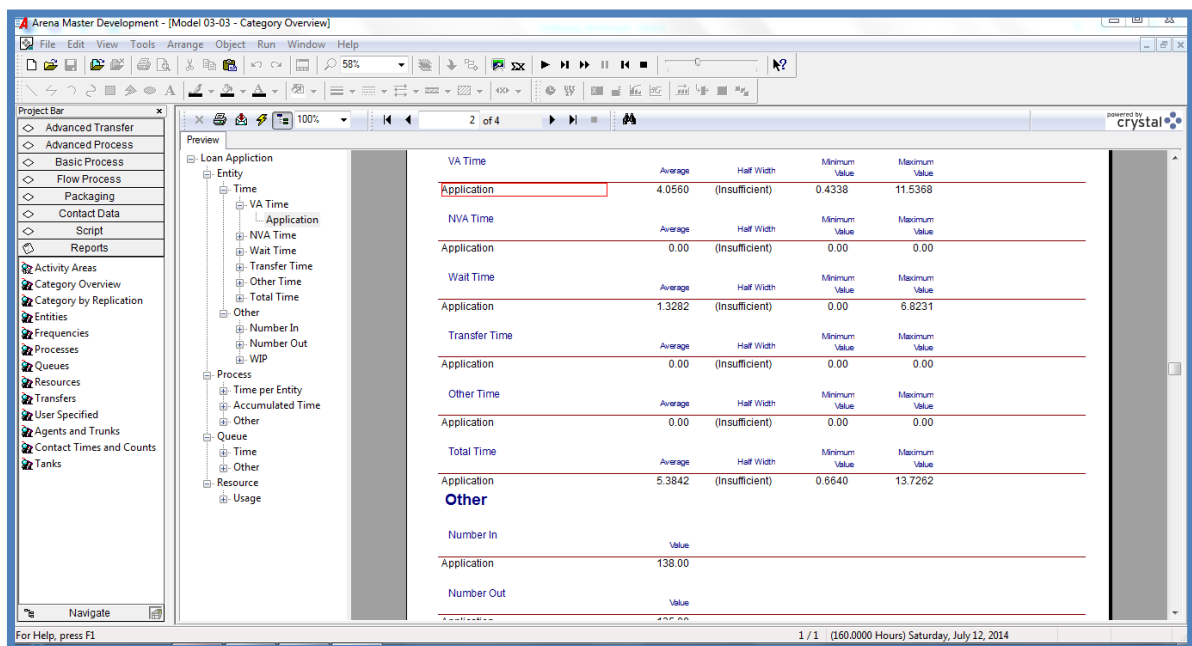
Slika 36. Ekranska forma za unos parametara elemenata modela

Kada je model kreiran i zadati svi poznati parametri sistema, onda se pokreće proces izvođenja simulacije uz definisanje i parametara samog izvođenja simulacije (broj replikacija, početak izvođenja simulacije, brzina, itd.) (slika 37).



Slika 37. Izgled modela i pokretanje simulacije

Kada sistem završi simulaciju, u skladu sa definisanim parametrima, korisnik dobija izveštaje koji su kasnije osnovna podloga za analizu sistema, njegovo unapređenje i donošenje odgovarajućih odluka (slika 38).



Slika 38. Izveštaji u softveru Arena

### 3. OPIS MODELA I TOKA ISTRAŽIVANJA

Model predstavlja set podataka koji je izabran nakon generisanja 10 različitih varijanti, a sastoji se od 8 mašina i 7 radnih naloga (istog stepena značajnosti) u svakom setu podataka. U tabeli 3 je prikazan reprezentativni uzorak koji je korišćen za dalja istraživanja. U krajnjoj desnoj koloni su prikazani redosledi operacija za svaki radni nalog i svaki zapis unutar te kolone sadrži podatke o broju mašine na kojoj se izvodi operacija i vreme trajanje operacije ( $p_{ij}$ ).

Tabela 3. Ulazni podaci za terminsko planiranje (reprezentativni uzorak)

Radni nalozi	Vreme dolaska	Vreme za isporuku	Mašina/Vreme trajanja operacije							
A	0	79	1/3	2/4	3/6	4/2	5/5	6/6	7/6	8/2
B	0	67	7/3	8/8	5/5	4/4	3/5	2/7	1/5	6/5
C	0	76	1/7	2/5	4/9	5/7	6/5	3/7	8/7	7/6
D	0	81	5/6	4/9	1/3	8/8	7/4	3/4	6/9	2/2
E	0	69	6/7	4/8	2/2	7/2	1/3	3/6	5/5	8/5
F	0	73	8/6	2/9	4/2	7/6	6/9	5/5	3/2	1/3
G	0	60	1/3	8/2	5/8	7/8	4/6	6/6	2/5	3/8

Vreme trajanja operacija je u opsegu od 2-9 vremenskih jedinica i dobijeno je generisanjem slučajnih brojeva po uniformnoj raspodeli. Rok isporuke je unapred poznat, s obzirom da je u pitanju *pull* proizvodnja. Vreme isporuke je za potrebe eksperimenta generisano na osnovu sledeće formule koja daje uniformno podeljene rezultate između 60 i 93:

$$\text{Rok isporuke} = \text{INT}(34 \times \text{RND} + 60), \quad 0 < \text{RND} < 1$$

Prilikom generisanja vrednosti za rokove isporuke, vodilo se računa da rokovi isporuke ne budu previše kratki, jer bi izazvalo ogromno opterećenje sistema a ne previše i dugački jer bi onda samo terminsko planiranje izgubilo smisao. Redosled radnih naloga su takođe slučajno generisani brojevi, s tim da je unapred postavljeno ograničenje da se jedno radno mesto ne može dva puta pojavljivati u okviru istog radnog naloga.

Pretpostavke modela su sledeće:

- veličina serije je poznata i ne menja se kod radnih naloga,
- nema paralelnog izvođenja operacija,

- vreme transporta između i do radnih mesta je zanemarljivo malo i nije uzimano u obzir,
- rok isporuke je unapred poznat,
- svi tehnološki sistemi su na početku procesa slobodni,
- za sve radne naloge su poznata vremena trajanja operacija (pripremno-završno vreme i vreme trajanja) i redosled operacija,
- operacija se izvodi u celini, nema prekida (nije dozvoljeno da se na nekoj mašini prekine operacija i nastavi na nekoj drugoj),
- pripremno-završna vremena ne zavise od prethodnog obrađenog radnog naloga na određenom tehnološkom sistemu,
- nema ponavljanja operacija (svaki proizvod može samo jednom da prođe kroz radni centar, nema recirkulacije kroz sistem),
- vreme trajanja operacija je uvek u skladu sa predviđenim normama,
- dokumentacija, alati i pribor su raspoloživi za sve radne naloge pre početka procesa,
- jedno radno mesto obrađuje samo jedan radni nalog u jednom trenutku,
- nema stanja u otkazu,
- međuskладиšta neograničenog kapaciteta između svakog radnog mesta,
- povratne informacije su raspoložive odmah, tačne su i potpune i
- kapacitet koji je predviđen je konstantan sve vreme.

Tok istraživanja je organizovan u nekoliko segmenata. U prvoj fazi su početni podaci iz tabele 3 obrađeni u softveru *LEKIN* primenom različitih pravila raspoređivanja i na osnovu toga su dobijeni podaci o vremenu početka i završetka operacija za svaki radni nalog i za svako pravilo raspoređivanja koje je uzeto u razmatranje. Dobijeni podaci su korišćeni za ispitivanje uticaja različitih mera na promene vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja. U te svrhe je korišćen softver *Cost-Time Profiler*, a mere koje su ispitivane i njihov redosled su sledeći:

- U prvom koraku su pored podataka o vremenima trajanja operacija, definisani podaci o ceni radnog sata radnika, tehnoloških sistema i materijala pod pretpostavkom da sav potreban materijal za svaki radni nalog ulazi na početku procesa obrade za dati nalog.
- U drugom koraku su korišćeni isti podaci o vremenima, radnicima i tehnološkim sistemima, kao i cene materijala, s tim da je pretpostavka da materijal ulazi u proces po *Just In Time* sistemu.
- U trećem koraku je izabran reprezentativni uzorak sa graničnim vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja, uz pretpostavku *Just In Time* sistema ulaska materijala i na tom uzorku su ispitivani uticaji sledećih mera:
  - a. u prvoj iteraciji je cena materijala smanjena za 15% i 30%,

- b. u drugoj iteraciji je smanjena cena radnog sata radnika za 15% i 30%,
- c. u trećoj iteraciji je smanjena cena tehnoloških sistema i shodno tome i cena održavanja za 15% i 30%,
- d. u četvrtoj iteraciji je sistem postavljen tako da nema čekanja i
- e. u petoj iteraciji je ispitivan uticaj skraćenja vremena trajanja operacija za 1 sat.

Sve pomenute mere od a. do e. su primenjivane odvojeno, nezavisno jedna od druge. Detaljni podaci o cenama materijala, tehnoloških sistema i njihovog održavanja, kao i cene radnog radnog sata radnika će biti prikazane zajedno sa rezultatima istraživanja. U slučajevima ulaska materijala na početku procesa i *Just In Time* sistema, korišćeni su isti ukupni iznosi, samo što je u prvom slučaju čitava suma pridruživana na prvoj operaciji svakog radnog naloga, dok je u drugom suma raspodeljena po operacijama.

## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U prvoj fazi istraživanja usmerenog na praćenje promena vremensko-troškovnog ulaganja u zavisnosti od pravila raspoređivanja radnih naloga koje je primenjeno, pošlo se od pretpostavke da kompletan materijal ulazi u proces na početku proizvodnje, a u sledećoj tabeli su prikazani podaci o ukupnim troškovima materijala za svaki radni nalog pojedinačno.

Tabela 4. Podaci o troškovima materijala po radnim nalogima

Radni nalog	Troškovi materijala na početku procesa
A	850
B	350
C	1000
D	550
E	500
F	500
G	550

Zajedničko za sve slučajeve, bez obzira koje je pravilo raspoređivanja primenjeno su i pretpostavljeni podaci o troškovima tehnoloških sistema i radnika i ti podaci su prikazani u sledećoj tabeli.

Tabela 5. Podaci o radnicima i tehnološkim sistemima

Radnici		Tehnološki sistem				
Oznaka radnika	Trošak radne snage/h	Oznaka tehnološkog sistema	Cena (EUR)	Trošak održavanja na godišnjem nivou	Životni vek	Broj sati rada na dnevnom nivou
R1	9	THS1	50.000	2.500	12	15
R2	11	THS2	100.000	5.000	12	15
R3	8	THS3	125.000	6.250	12	15
R4	12	THS4	25.000	1.250	12	15
R5	6	THS5	175.000	8.750	12	15
R6	5	THS6	75.000	3.750	12	15
R7	10	THS7	150.000	7.500	12	15
R8	7	THS8	200.000	10.000	12	15

Identifikacioni broj radnika odgovara identifikacionom broju tehnološkog sistema na kom je raspoređen. Cena radnog sata je formirana na osnovu prosečne cene radnog sata u Evropi, za poslove u proizvodnim procesima, a različiti iznosi su u skladu sa stepenom stručnosti i

odgovornosti koju određena operacija i tehnološki sistem zahtevaju. Nabavne cene tehnoloških sistema su uzete u rasponu od 50.000 do 200.000 evra, a trošak održavanja na godišnjem nivou je oko 5% od nabavne cene. Sistem radi u dve smene po 7.5 h. Životni vek tehnoloških sistema je 12 godina.

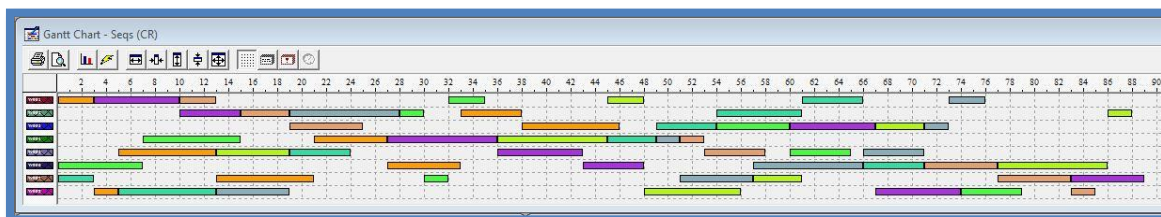
U tabeli broj 6 su prikazani podaci o performansama terminskog planiranja, odnosno kriterijumskim funkcijama.

Tabela 6. Podaci o performansama sistema

Pravila	$C_{max}$	$T_{max}$	$\sum U_i$	$\sum C_i$	$\sum T_i$
CR	89	13	6	534	43
EDD	87	9	3	454	17
FCFS	89	24	3	468	44
LPT	81	14	3	506	31
MS	82	2	2	466	3
SPT	107	31	2	461	58
ATCS (K1=4.6, K2=1.3)	93	15	2	458	27
Heuristička pravila	$C_{max}$	$T_{max}$	$\sum U_i$	$\sum C_i$	$\sum T_i$
Shifting Bottleneck/SUM (wT)	78	0	0	431	0
General SB routine (Makespan)	71	5	2	479	9
Local search (Makespan)	67	7	1	442	7
Shifting Bottleneck/Tmax	75	0	0	449	0

- $C_{max}$  – vreme završetka poslednje operacije,  
 $T_{max}$  – maksimalno kašnjenje,  
 $\sum U_i$  – ukupan broj radnih naloga koji su u kašnjenju,  
 $\sum C_i$  – zbir vremena obrade svih radnih naloga,  
 $\sum T_i$  – maksimalno kašnjenje.

Za proračun vremensko-troškovnog ulaganja i ukupnih troškova, potrebni su i podaci o vremenima trajanja aktivnosti, koji su uzimani iz LEKIN softvera za svako pravilo raspoređivanja posebno što će i u nastavku biti prikazano. Za svako pojedinačno pravilo raspoređivanja, biće prikazan terminski plan, tabela sa podacima o vremenu početka i završetka aktivnosti, vreme trajanja i vreme čekanja na neku aktivnost i na kraju vremensko-troškovni profil sa podacima o vremensko-troškovnom ulaganju i iznosu ukupnih troškova. O karakteristikama svakog pojedinačnog pravila raspoređivanja je bilo reči u okviru poglavlja posvećenog terminskom planiranju. U okviru poglavlja posvećenog softverima koji su korišćeni u okviru disertacije, prikazan je, korak po korak, postupak unosa podataka, tako da će ovde biti prikazani samo izlazni podaci.

CR pravilo raspoređivanja radnih naloga

Slika 39. Terminski plan – CR pravilo raspoređivanja radnih naloga

Tabela 7. Podaci o aktivnostima za CR pravilo raspoređivanja

Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	10	13	3	10
A2/THS2/R2	15	19	4	2
A3/THS3/R3	19	25	6	/
A4/THS4/R4	51	53	2	26
A5/THS5/R5	53	58	5	/
A6/THS6/R6	71	77	6	13
A7/THS7/R7	77	83	6	/
A8/THS8/R8	83	85	2	/
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	5	13	8	2
B3/THS5/R5	19	24	5	6
B4/THS4/R4	45	49	4	21
B5/THS3/R3	49	54	5	/
B6/THS2/R2	54	61	7	/
B7/THS1/R1	61	66	5	/
B8/THS6/R6	66	71	5	/
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	3	0	7	3
C2/THS2/R2	10	15	5	/
C3/THS4/R4	27	36	9	12
C4/THS5/R5	36	43	7	/
C5/THS6/R6	43	48	5	/
C6/THS3/R3	60	67	7	12
C7/THS8/R8	67	74	7	/
C8/THS7/R7	83	89	6	9
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	13	19	6	13
D2/THS4/R4	36	45	9	17
D3/THS1/R1	45	48	3	/
D4/THS8/R8	48	56	8	/
D5/THS7/R7	57	61	4	1
D6/THS3/R3	67	71	4	6
D7/THS6/R6	77	86	9	6
D8/THS2/R2	86	88	2	/

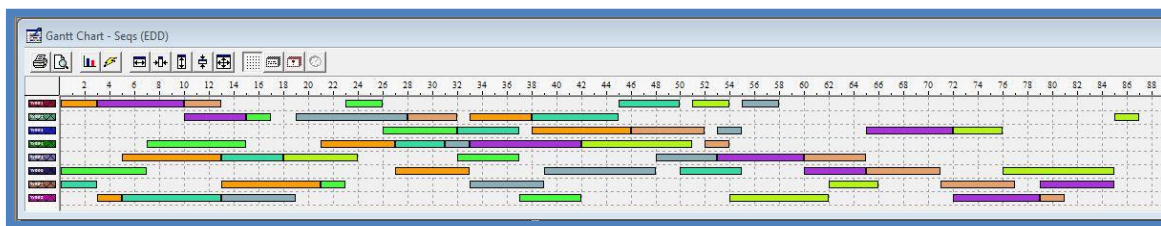


Radni nalog E				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	7	15	8	/
E3/THS2/R2	28	30	2	13
E4/THS7/R7	30	32	2	/
E5/THS1/R1	32	35	3	/
E6/THS3/R3	54	60	6	19
E7/THS5/R5	60	65	5	/
E8/THS8/R8	74	79	5	9
Radni nalog F				
F1/THS8/R8	13	19	6	13
F2/THS2/R2	19	28	9	/
F3/THS4/R4	49	51	2	21
F4/THS7/R7	51	57	6	/
F5/THS6/R6	57	66	9	/
F6/THS5/R5	66	71	5	/
F7/THS3/R3	71	73	2	/
F8/THS1/R1	73	76	3	/
Radni nalog G				
G1/THS1/R1	0	3	3	/
G2/THS8/R8	3	5	2	/
G3/THS5/R5	5	13	8	/
G4/THS7/R7	13	21	8	/
G5/THS4/R4	21	27	6	/
G6/THS6/R6	27	33	6	/
G7/THS2/R2	33	38	5	/
G8/THS3/R3	38	46	8	/



Slika 40. Vremensko-troškovni profil za CR pravilo raspoređivanja i ulazak materijala na početku procesa

## EDD pravilo raspoređivanja radnih naloga



Slika 41. Terminski plan – EDD pravilo raspoređivanja radnih naloga

Tabela 8. Podaci o aktivnostima za EDD pravilo raspoređivanja

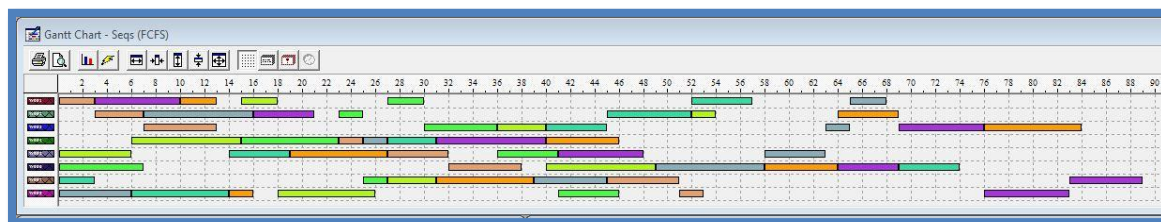
Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	10	13	3	10
A2/THS2/R2	28	32	4	15
A3/THS3/R3	46	52	6	14
A4/THS4/R4	52	54	2	/
A5/THS5/R5	60	65	5	6
A6/THS6/R6	65	71	6	/
A7/THS7/R7	71	77	6	/
A8/THS8/R8	79	81	2	2
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	5	13	8	2
B3/THS5/R5	13	8	5	/
B4/THS4/R4	27	31	4	9
B5/THS3/R3	32	37	5	1
B6/THS2/R2	38	45	7	1
B7/THS1/R1	45	50	5	/
B8/THS6/R6	50	55	5	/
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	3	10	7	3
C2/THS2/R2	10	15	5	/
C3/THS4/R4	33	42	9	18
C4/THS5/R5	53	60	7	11
C5/THS6/R6	60	65	5	/
C6/THS3/R3	65	72	7	/
C7/THS8/R8	72	79	7	/
C8/THS7/R7	79	85	6	/
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	18	24	6	18
D2/THS4/R4	42	51	9	18
D3/THS1/R1	51	54	3	/
D4/THS8/R8	54	62	8	/
D5/THS7/R7	62	66	4	/
D6/THS3/R3	72	76	4	6
D7/THS6/R6	76	85	9	/
D8/THS2/R2	85	87	2	/

Radni nalog E				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	7	15	8	/
E3/THS2/R2	15	17	2	/
E4/THS7/R7	21	23	2	4
E5/THS1/R1	23	26	3	/
E6/THS3/R3	26	32	6	/
E7/THS5/R5	32	37	5	/
E8/THS8/R8	37	42	5	/
Radni nalog F				
F1/THS8/R8	13	19	6	13
F2/THS2/R2	19	28	9	/
F3/THS4/R4	31	33	2	3
F4/THS7/R7	33	39	6	/
F5/THS6/R6	39	48	9	/
F6/THS5/R5	48	53	5	/
F7/THS3/R3	53	55	2	/
F8/THS1/R1	55	58	3	/
Radni nalog G				
G1/THS1/R1	0	3	3	/
G2/THS8/R8	3	5	2	/
G3/THS5/R5	5	13	8	/
G4/THS7/R7	13	21	8	/
G5/THS4/R4	21	27	6	/
G6/THS6/R6	27	33	6	/
G7/THS2/R2	33	38	5	/
G8/THS3/R3	38	46	8	/



Slika 42. Vremensko-troškovni profil za EDD pravilo raspoređivanja i ulazak materijala na početku procesa

## FCFS pravilo pravilo raspoređivanja radnih naloga



Slika 43. Terminski plan – FCFS pravilo raspoređivanja radnih naloga

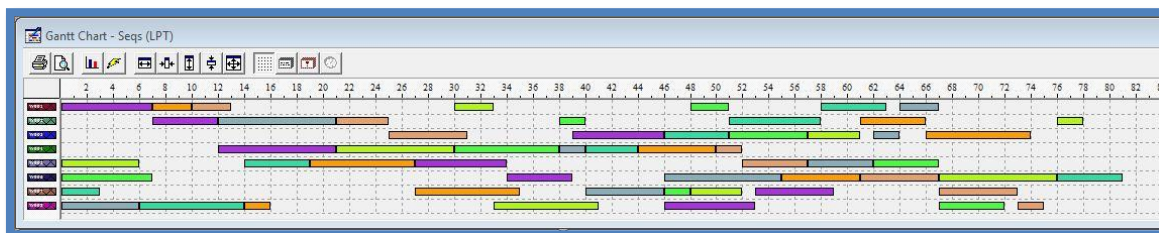
Tabela 9. Podaci o aktivnostima za FCFS pravilo raspoređivanja

Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	0	3	3	/
A2/THS2/R2	3	7	4	/
A3/THS3/R3	7	13	6	/
A4/THS4/R4	23	25	2	10
A5/THS5/R5	27	32	5	2
A6/THS6/R6	32	38	6	/
A7/THS7/R7	45	51	6	7
A8/THS8/R8	51	53	2	/
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	6	14	8	3
B3/THS5/R5	14	19	5	/
B4/THS4/R4	27	31	4	8
B5/THS3/R3	40	45	5	9
B6/THS2/R2	45	52	7	/
B7/THS1/R1	52	57	5	/
B8/THS6/R6	69	74	5	12
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	3	10	7	3
C2/THS2/R2	16	21	5	6
C3/THS4/R4	31	40	9	10
C4/THS5/R5	41	48	7	1
C5/THS6/R6	64	69	5	16
C6/THS3/R3	69	76	7	0
C7/THS8/R8	76	83	7	0
C8/THS7/R7	83	89	6	0
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	0	6	6	/
D2/THS4/R4	6	15	9	/
D3/THS1/R1	15	18	3	/
D4/THS8/R8	18	26	8	/
D5/THS7/R7	27	31	4	1
D6/THS3/R3	36	40	4	5
D7/THS6/R6	40	49	9	/
D8/THS2/R2	52	54	2	3
<b>Radni nalog E</b>				

E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	15	23	8	8
E3/THS2/R2	23	25	2	/
E4/THS7/R7	25	27	2	/
E5/THS1/R1	27	30	3	/
E6/THS3/R3	30	36	6	/
E7/THS5/R5	36	41	5	/
E8/THS8/R8	41	46	5	/
<b>Radni nalog F</b>				
F1/THS8/R8	0	6	6	/
F2/THS2/R2	7	16	9	1
F3/THS4/R4	25	27	2	9
F4/THS7/R7	39	45	6	12
F5/THS6/R6	49	58	9	4
F6/THS5/R5	58	63	5	/
F7/THS3/R3	63	65	2	/
F8/THS1/R1	65	68	3	/
<b>Radni nalog G</b>				
G1/THS1/R1	10	13	3	10
G2/THS8/R8	14	16	2	1
G3/THS5/R5	19	27	8	3
G4/THS7/R7	31	39	8	4
G5/THS4/R4	40	46	6	1
G6/THS6/R6	58	64	6	12
G7/THS2/R2	64	69	5	/
G8/THS3/R3	76	84	8	7



Slika 44. Vremensko-troškovni profil za FCFS pravilo raspoređivanja i materijal na početku

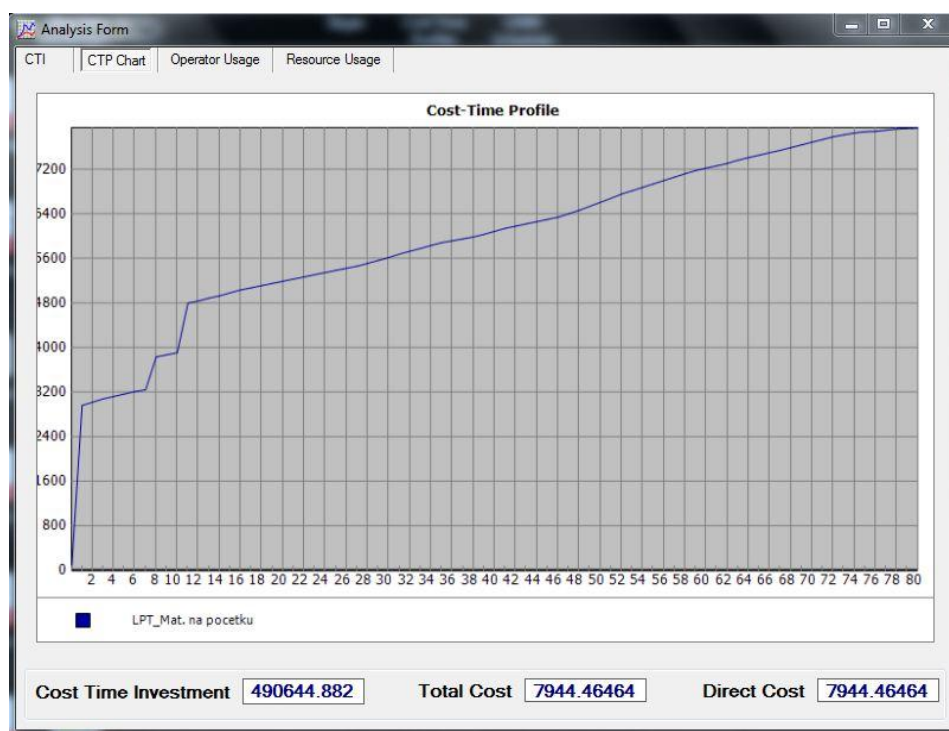
LPT pravilo raspoređivanja radnih naloga

Slika 45. Terminski plan – LPT pravilo raspoređivanja radnih naloga

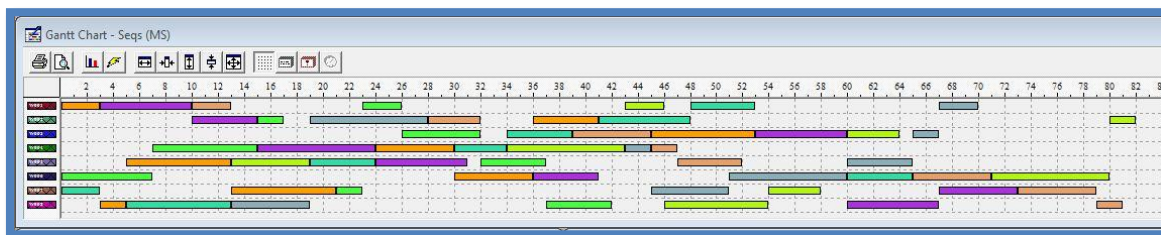
Tabela 10. Podaci o aktivnostima za LPT pravilo raspoređivanja

Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	10	13	3	10
A2/THS2/R2	21	25	4	8
A3/THS3/R3	25	31	6	/
A4/THS4/R4	50	52	2	19
A5/THS5/R5	52	57	5	/
A6/THS6/R6	61	67	6	4
A7/THS7/R7	67	73	6	/
A8/THS8/R8	73	75	2	/
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	6	14	8	3
B3/THS5/R5	14	19	5	/
B4/THS4/R4	40	44	4	21
B5/THS3/R3	46	51	5	2
B6/THS2/R2	51	58	7	/
B7/THS1/R1	58	63	5	/
B8/THS6/R6	76	81	5	13
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	0	7	7	/
C2/THS2/R2	7	12	5	/
C3/THS4/R4	12	21	9	/
C4/THS5/R5	27	34	7	6
C5/THS6/R6	34	39	5	/
C6/THS3/R3	39	46	7	/
C7/THS8/R8	46	53	7	/
C8/THS7/R7	53	59	6	/
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	0	6	6	/
D2/THS4/R4	21	30	9	15
D3/THS1/R1	30	33	3	/
D4/THS8/R8	33	41	8	/
D5/THS7/R7	48	52	4	7
D6/THS3/R3	57	61	4	5
D7/THS6/R6	67	76	9	6
D8/THS2/R2	76	78	2	/

Radni nalog E				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	30	38	8	23
E3/THS2/R2	38	40	2	/
E4/THS7/R7	46	48	2	6
E5/THS1/R1	48	51	3	/
E6/THS3/R3	51	57	6	/
E7/THS5/R5	62	67	5	5
E8/THS8/R8	67	72	5	/
Radni nalog F				
F1/THS8/R8	0	6	6	/
F2/THS2/R2	12	21	9	6
F3/THS4/R4	38	40	2	17
F4/THS7/R7	40	46	6	/
F5/THS6/R6	46	55	9	/
F6/THS5/R5	57	62	5	2
F7/THS3/R3	62	64	2	/
F8/THS1/R1	64	67	3	/
Radni nalog G				
G1/THS1/R1	7	10	3	7
G2/THS8/R8	14	16	2	4
G3/THS5/R5	19	27	8	3
G4/THS7/R7	27	35	8	/
G5/THS4/R4	44	50	6	9
G6/THS6/R6	55	61	6	5
G7/THS2/R2	61	66	5	/
G8/THS3/R3	66	74	8	/



Slika 46. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i materijal na početku

MS pravilo raspoređivanja radnih naloga

Slika 47. Terminski plan – MS pravilo raspoređivanja radnih naloga

Tabela 11. Podaci o aktivnostima za MS pravilo raspoređivanja

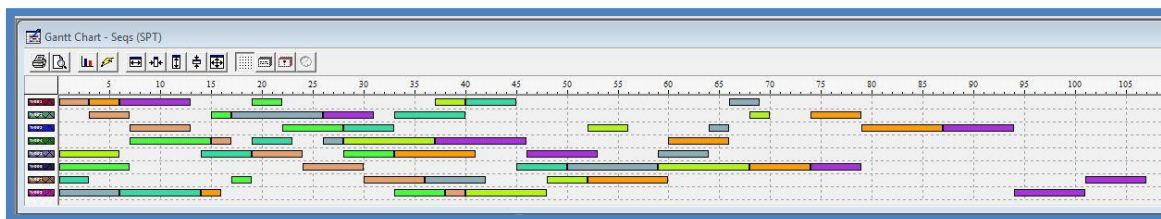
Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	10	13	3	10
A2/THS2/R2	28	32	4	15
A3/THS3/R3	39	45	6	7
A4/THS4/R4	45	47	2	/
A5/THS5/R5	47	52	5	/
A6/THS6/R6	65	71	6	13
A7/THS7/R7	73	79	6	2
A8/THS8/R8	79	81	2	/
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	5	13	8	2
B3/THS5/R5	19	24	5	6
B4/THS4/R4	30	34	4	6
B5/THS3/R3	34	39	5	/
B6/THS2/R2	41	48	7	2
B7/THS1/R1	48	53	5	/
B8/THS6/R6	60	65	5	7
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	3	10	7	3
C2/THS2/R2	10	15	5	/
C3/THS4/R4	15	24	9	/
C4/THS5/R5	24	31	7	/
C5/THS6/R6	36	41	5	5
C6/THS3/R3	53	60	7	12
C7/THS8/R8	60	67	7	/
C8/THS7/R7	67	73	6	/
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	13	19	6	13
D2/THS4/R4	34	43	9	15
D3/THS1/R1	43	46	3	/
D4/THS8/R8	46	54	8	/
D5/THS7/R7	64	59	4	/
D6/THS3/R3	60	64	4	2
D7/THS6/R6	71	80	9	7
D8/THS2/R2	80	82	2	/



Radni nalog E				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	7	15	8	/
E3/THS2/R2	15	17	2	/
E4/THS7/R7	21	23	2	4
E5/THS1/R1	23	26	3	/
E6/THS3/R3	26	32	6	/
E7/THS5/R5	32	37	5	/
E8/THS8/R8	37	42	5	/
Radni nalog F				
F1/THS8/R8	13	19	6	13
F2/THS2/R2	19	28	9	/
F3/THS4/R4	43	45	2	15
F4/THS7/R7	45	51	6	/
F5/THS6/R6	51	60	9	/
F6/THS5/R5	60	65	5	/
F7/THS3/R3	65	67	2	/
F8/THS1/R1	67	70	3	/
Radni nalog G				
G1/THS1/R1	0	3	3	/
G2/THS8/R8	3	5	2	/
G3/THS5/R5	5	13	8	/
G4/THS7/R7	13	21	8	/
G5/THS4/R4	24	30	6	3
G6/THS6/R6	30	36	6	/
G7/THS2/R2	36	41	5	/
G8/THS3/R3	45	53	8	4



Slika 48. Vremensko-troškovni profil za MS pravilo raspoređivanja i materijal na početku

SPT pravilo raspoređivanja radnih naloga

Slika 49. Terminski plan – SPT pravilo raspoređivanja radnih naloga

Tabela 12. Podaci o aktivnostima za SPT pravilo raspoređivanja

Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	0	3	3	/
A2/THS2/R2	3	7	4	/
A3/THS3/R3	7	13	6	/
A4/THS4/R4	15	17	2	2
A5/THS5/R5	19	24	5	2
A6/THS6/R6	24	30	6	/
A7/THS7/R7	30	36	6	/
A8/THS8/R8	38	40	2	2
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	6	14	8	3
B3/THS5/R5	14	19	5	/
B4/THS4/R4	19	23	4	/
B5/THS3/R3	28	33	5	5
B6/THS2/R2	33	40	7	/
B7/THS1/R1	40	45	5	/
B8/THS6/R6	45	50	5	/
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	6	13	7	6
C2/THS2/R2	26	31	5	13
C3/THS4/R4	37	46	9	6
C4/THS5/R5	46	53	7	/
C5/THS6/R6	74	79	5	21
C6/THS3/R3	87	94	7	8
C7/THS8/R8	94	101	7	/
C8/THS7/R7	101	107	6	/
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	0	6	6	/
D2/THS4/R4	28	37	9	22
D3/THS1/R1	37	40	3	/
D4/THS8/R8	40	48	8	/
D5/THS7/R7	48	52	4	/
D6/THS3/R3	52	56	4	/
D7/THS6/R6	59	68	9	3
D8/THS2/R2	68	70	2	/

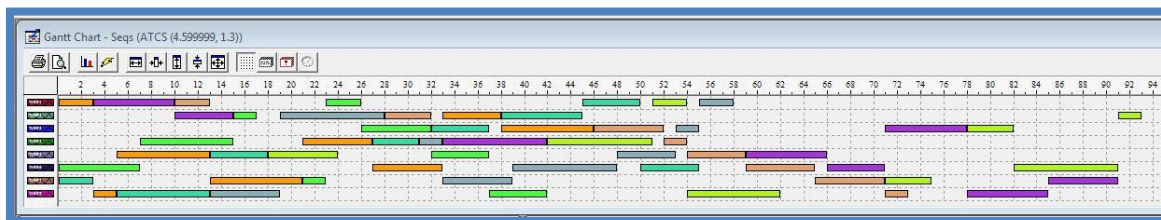
Radni nalog E				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	7	15	8	/
E3/THS2/R2	15	17	2	/
E4/THS7/R7	17	19	2	/
E5/THS1/R1	19	22	3	/
E6/THS3/R3	22	28	6	/
E7/THS5/R5	28	33	5	/
E8/THS8/R8	33	38	5	/
Radni nalog F				
F1/THS8/R8	0	6	6	/
F2/THS2/R2	17	26	9	11
F3/THS4/R4	26	28	2	/
F4/THS7/R7	36	42	6	8
F5/THS6/R6	50	59	9	8
F6/THS5/R5	59	64	5	/
F7/THS3/R3	64	66	2	/
F8/THS1/R1	66	69	3	/
Radni nalog G				
G1/THS1/R1	3	6	3	3
G2/THS8/R8	14	16	2	8
G3/THS5/R5	33	41	8	17
G4/THS7/R7	52	60	8	11
G5/THS4/R4	60	66	6	/
G6/THS6/R6	68	74	6	2
G7/THS2/R2	74	79	5	/
G8/THS3/R3	79	87	8	/



Slika 50. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i materijal na početku

ATCS pravilo raspoređivanja radnih naloga

Kako bi se u LEKIN softveru primenilo ATCS pravilo raspoređivanja radnih naloga, bilo je neophodno izračunati koeficijente  $k_1$  i  $k_2$ . Primenom formula koje su predstavljene u poglavlju posvećenom terminskom planiranju, vrednost koja je dobijena za koeficijent  $k_1$  iznosi 4,6, a vrednost koeficijenta  $k_2$  iznosi 1,3.

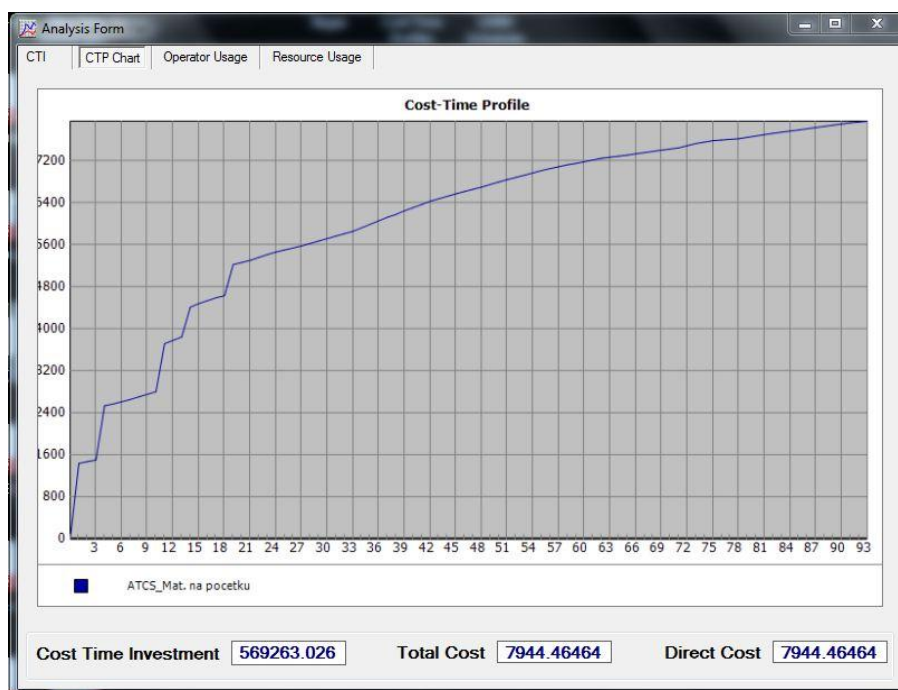


Slika 51. Terminski plan – ATCS pravilo raspoređivanja radnih naloga

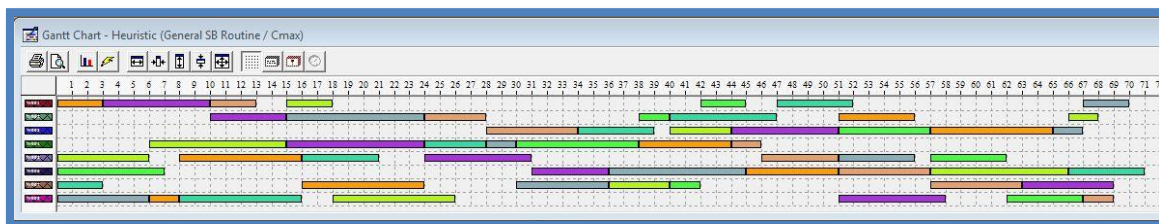
Tabela 13. Podaci o aktivnostima za ATCS pravilo raspoređivanja

Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	10	13	3	10
A2/THS2/R2	28	32	4	15
A3/THS3/R3	46	52	6	14
A4/THS4/R4	52	54	2	/
A5/THS5/R5	54	59	5	/
A6/THS6/R6	59	65	6	/
A7/THS7/R7	65	71	6	/
A8/THS8/R8	71	73	2	/
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	5	13	8	2
B3/THS5/R5	13	18	5	/
B4/THS4/R4	27	31	4	9
B5/THS3/R3	32	37	5	1
B6/THS2/R2	38	45	7	1
B7/THS1/R1	45	50	5	/
B8/THS6/R6	50	55	5	/
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	3	10	7	3
C2/THS2/R2	10	15	5	/
C3/THS4/R4	33	42	9	18
C4/THS5/R5	59	66	7	17
C5/THS6/R6	66	71	5	/
C6/THS3/R3	71	78	7	/
C7/THS8/R8	78	85	7	/
C8/THS7/R7	85	91	6	/
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	18	24	6	18
D2/THS4/R4	42	51	9	18
D3/THS1/R1	51	54	3	/
D4/THS8/R8	54	62	8	/
D5/THS7/R7	71	75	4	9
D6/THS3/R3	78	82	4	3

D7/THS6/R6	82	91	9	/
D8/THS2/R2	91	93	2	/
<b>Radni nalog E</b>				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	7	15	8	/
E3/THS2/R2	15	17	2	/
E4/THS7/R7	21	23	2	4
E5/THS1/R1	23	26	3	/
E6/THS3/R3	26	32	6	/
E7/THS5/R5	32	37	5	/
E8/THS8/R8	37	42	5	/
<b>Radni nalog F</b>				
F1/THS8/R8	13	19	6	13
F2/THS2/R2	19	28	9	/
F3/THS4/R4	31	33	2	3
F4/THS7/R7	33	39	6	/
F5/THS6/R6	39	48	9	/
F6/THS5/R5	48	53	5	/
F7/THS3/R3	53	55	2	/
F8/THS1/R1	55	58	3	/
<b>Radni nalog G</b>				
G1/THS1/R1	0	3	3	/
G2/THS8/R8	3	5	2	/
G3/THS5/R5	5	13	8	/
G4/THS7/R7	13	21	8	/
G5/THS4/R4	21	27	6	/
G6/THS6/R6	27	3	6	/
G7/THS2/R2	3	38	5	/
G8/THS3/R3	38	46	8	/



Slika 52. Vremensko-troškovni profil za ATCS pravilo raspoređivanja i materijal na početku

General SB routine (Makespan) pravilo raspoređivanja radnih naloga

Slika 53. Terminski plan – General SB routine pravilo raspoređivanja radnih naloga

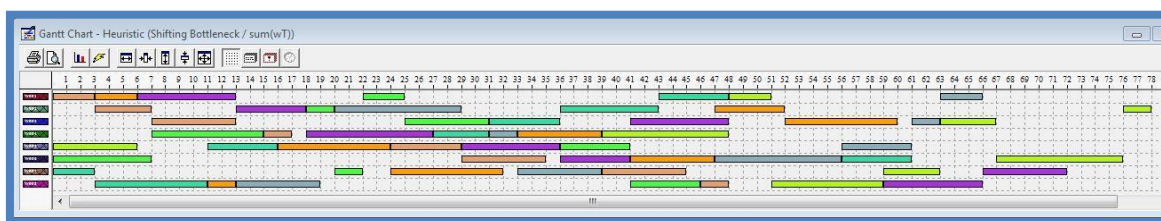
Tabela 14. Podaci o aktivnostima za General SB routine pravilo raspoređivanja

Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	10	13	3	10
A2/THS2/R2	24	28	4	11
A3/THS3/R3	28	34	6	/
A4/THS4/R4	44	36	2	10
A5/THS5/R5	46	51	5	/
A6/THS6/R6	51	57	6	/
A7/THS7/R7	57	63	6	/
A8/THS8/R8	67	69	2	4
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	8	16	8	5
B3/THS5/R5	16	21	5	/
B4/THS4/R4	24	28	4	3
B5/THS3/R3	34	39	5	6
B6/THS2/R2	40	47	7	1
B7/THS1/R1	47	52	5	/
B8/THS6/R6	66	71	5	14
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	3	10	7	3
C2/THS2/R2	10	15	5	/
C3/THS4/R4	15	24	9	/
C4/THS5/R5	24	31	7	/
C5/THS6/R6	31	36	5	/
C6/THS3/R3	44	51	7	8
C7/THS8/R8	51	58	7	/
C8/THS7/R7	63	69	6	5
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	0	6	6	/
D2/THS4/R4	6	15	9	/
D3/THS1/R1	15	18	3	/
D4/THS8/R8	18	26	8	/
D5/THS7/R7	36	40	4	10
D6/THS3/R3	40	44	4	/
D7/THS6/R6	57	66	9	13
D8/THS2/R2	66	68	2	/

Radni nalog E				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	30	38	8	23
E3/THS2/R2	38	40	2	/
E4/THS7/R7	40	42	2	/
E5/THS1/R1	42	45	3	/
E6/THS3/R3	51	57	6	6
E7/THS5/R5	57	62	5	/
E8/THS8/R8	62	67	5	/
Radni nalog F				
F1/THS8/R8	0	6	6	/
F2/THS2/R2	15	24	9	9
F3/THS4/R4	28	30	2	4
F4/THS7/R7	30	36	6	/
F5/THS6/R6	36	45	9	/
F6/THS5/R5	51	56	5	6
F7/THS3/R3	65	67	2	9
F8/THS1/R1	67	70	3	/
Radni nalog G				
G1/THS1/R1	0	3	3	/
G2/THS8/R8	6	8	2	3
G3/THS5/R5	8	16	8	/
G4/THS7/R7	16	24	8	/
G5/THS4/R4	38	44	6	14
G6/THS6/R6	45	51	6	1
G7/THS2/R2	51	56	5	/
G8/THS3/R3	57	65	8	1



Slika 54. Vremensko-troškovni profil za SB rutine pravilo raspoređivanja i materijal na početku

Shifting Bottleneck/SUM(wT) pravilo raspoređivanja radnih naloga

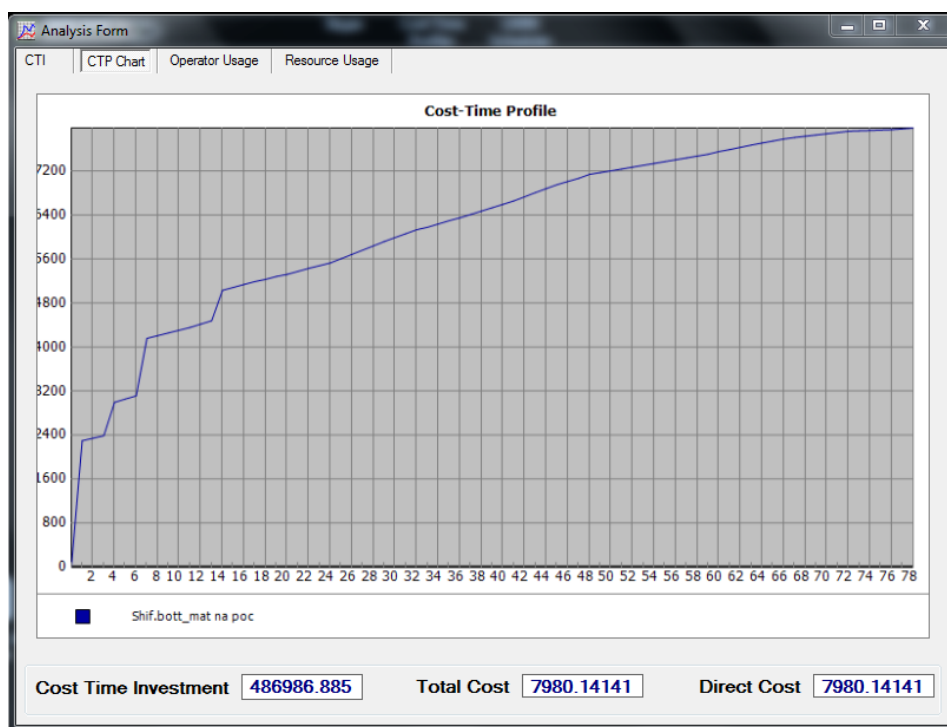
Slika 55. Terminski plan – Shifting Bottleneck/SUM(wT) pravilo raspoređivanja radnih naloga

Tabela 15. Podaci o aktivnostima za Shifting Bottleneck/SUM(wT) pravilo raspoređivanja

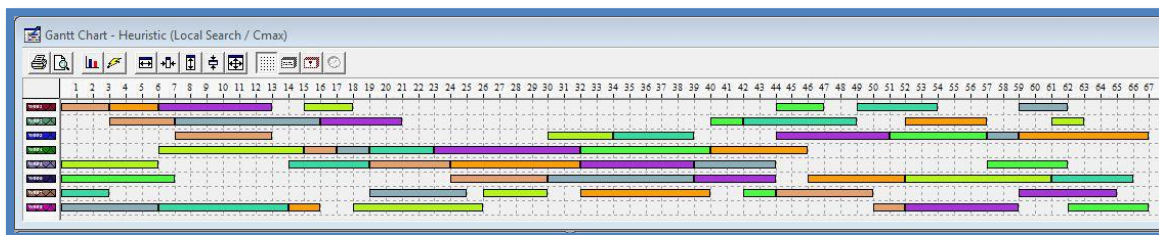
Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	0	3	3	/
A2/THS2/R2	3	7	4	/
A3/THS3/R3	7	13	6	/
A4/THS4/R4	15	17	2	2
A5/THS5/R5	24	29	5	7
A6/THS6/R6	29	35	6	/
A7/THS7/R7	39	45	6	4
A8/THS8/R8	46	48	2	1
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	3	11	8	/
B3/THS5/R5	11	16	5	/
B4/THS4/R4	27	31	4	11
B5/THS3/R3	31	36	5	/
B6/THS2/R2	6	43	7	/
B7/THS1/R1	43	48	5	/
B8/THS6/R6	56	61	5	8
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	6	13	7	6
C2/THS2/R2	13	18	5	/
C3/THS4/R4	18	27	9	/
C4/THS5/R5	29	36	7	2
C5/THS6/R6	36	41	5	/
C6/THS3/R3	41	48	7	/
C7/THS8/R8	59	66	7	11
C8/THS7/R7	66	72	6	/
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	0	6	6	/
D2/THS4/R4	39	48	9	33
D3/THS1/R1	48	51	3	/
D4/THS8/R8	51	59	8	/
D5/THS7/R7	59	63	4	/
D6/THS3/R3	63	67	4	/
D7/THS6/R6	67	76	9	/
D8/THS2/R2	76	78	2	/



Radni nalog E				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	7	15	8	/
E3/THS2/R2	18	20	2	3
E4/THS7/R7	20	22	2	/
E5/THS1/R1	22	25	3	/
E6/THS3/R3	25	31	6	/
E7/THS5/R5	36	41	5	5
E8/THS8/R8	41	46	5	/
Radni nalog F				
F1/THS8/R8	13	19	6	13
F2/THS2/R2	20	29	9	1
F3/THS4/R4	31	33	2	2
F4/THS7/R7	33	39	6	/
F5/THS6/R6	47	56	9	8
F6/THS5/R5	56	61	5	/
F7/THS3/R3	61	63	2	/
F8/THS1/R1	63	66	3	/
Radni nalog G				
G1/THS1/R1	3	6	3	3
G2/THS8/R8	11	13	2	5
G3/THS5/R5	16	24	8	3
G4/THS7/R7	24	32	8	/
G5/THS4/R4	33	39	6	1
G6/THS6/R6	41	47	6	2
G7/THS2/R2	47	52	5	/
G8/THS3/R3	52	60	8	/



Slika 56. Vremensko-troškovni profil za Shifting Bottleneck/SUM(wT) pravilo raspoređivanja i materijal na početku

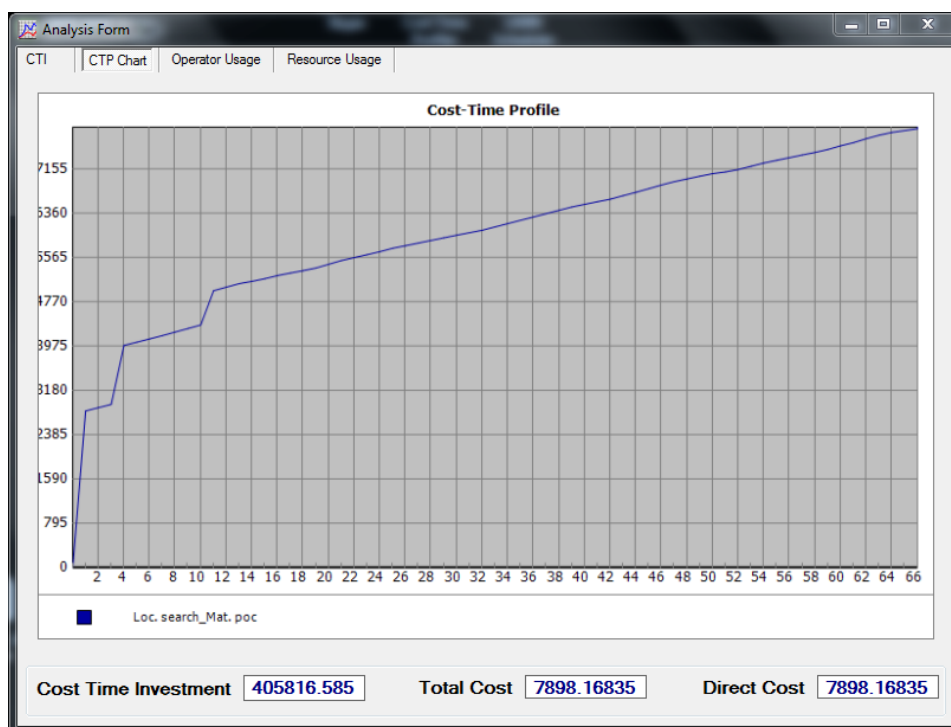
Local search (Makespan) pravilo raspoređivanja radnih naloga

Slika 57. Terminski plan – Local search (Makespan) pravilo raspoređivanja radnih naloga

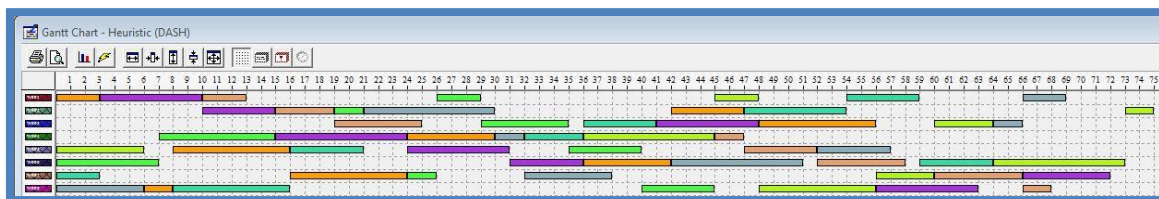
Tabela 16. Podaci o aktivnostima za *Local search* (Makespan) pravilo raspoređivanja

Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	0	3	3	/
A2/THS2/R2	3	7	4	/
A3/THS3/R3	7	13	6	/
A4/THS4/R4	15	17	2	2
A5/THS5/R5	19	24	5	2
A6/THS6/R6	24	30	6	/
A7/THS7/R7	44	50	6	14
A8/THS8/R8	58	60	2	8
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	6	14	8	3
B3/THS5/R5	14	19	5	/
B4/THS4/R4	19	23	4	/
B5/THS3/R3	34	39	5	11
B6/THS2/R2	42	49	7	3
B7/THS1/R1	49	54	5	/
B8/THS6/R6	61	66	5	7
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	3	10	7	3
C2/THS2/R2	16	21	5	6
C3/THS4/R4	23	32	9	2
C4/THS5/R5	32	39	7	/
C5/THS6/R6	39	44	5	/
C6/THS3/R3	44	51	7	/
C7/THS8/R8	51	58	7	/
C8/THS7/R7	58	64	6	/
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	0	6	6	/
D2/THS4/R4	6	15	9	/
D3/THS1/R1	15	18	3	/
D4/THS8/R8	18	26	8	/
D5/THS7/R7	26	30	4	/
D6/THS3/R3	30	34	4	/
D7/THS6/R6	52	61	9	18
D8/THS2/R2	61	63	2	/

Radni nalog E				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	32	40	8	25
E3/THS2/R2	40	42	2	/
E4/THS7/R7	42	44	2	/
E5/THS1/R1	44	47	3	/
E6/THS3/R3	51	57	6	4
E7/THS5/R5	57	62	5	/
E8/THS8/R8	62	67	5	/
Radni nalog F				
F1/THS8/R8	0	6	6	/
F2/THS2/R2	7	16	9	1
F3/THS4/R4	17	19	2	1
F4/THS7/R7	19	25	6	/
F5/THS6/R6	30	39	9	5
F6/THS5/R5	39	44	5	/
F7/THS3/R3	57	59	2	13
F8/THS1/R1	59	62	3	/
Radni nalog G				
G1/THS1/R1	10	13	3	10
G2/THS8/R8	14	16	2	1
G3/THS5/R5	24	32	8	8
G4/THS7/R7	32	40	8	/
G5/THS4/R4	40	46	6	/
G6/THS6/R6	46	52	6	/
G7/THS2/R2	52	57	5	/
G8/THS3/R3	59	67	8	2



Slika 58. Vremensko-troškovni profil za Local search (Makespan) pravilo raspoređivanja i materijal na početku

Shifting bottleneck/Tmax – DASH pravilo raspoređivanja radnih naloga

Slika 59. Terminski plan – Shifting bottleneck/Tmax – DASH pravilo raspoređivanja radnih naloga

Tabela 17. Podaci o aktivnostima za Shifting bottleneck/Tmax – DASH pravilo raspoređivanja

Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Čekanje (h)
<b>Radni nalog A</b>				
A1/THS1/R1	10	13	3	10
A2/THS2/R2	15	19	4	2
A3/THS3/R3	19	25	6	/
A4/THS4/R4	45	47	2	20
A5/THS5/R5	47	52	5	/
A6/THS6/R6	52	58	6	/
A7/THS7/R7	60	66	6	2
A8/THS8/R8	66	68	2	/
<b>Radni nalog B</b>				
B1/THS7/R7	0	3	3	/
B2/THS8/R8	8	16	8	5
B3/THS5/R5	16	21	5	/
B4/THS4/R4	32	36	4	11
B5/THS3/R3	36	41	5	/
B6/THS2/R2	47	54	7	6
B7/THS1/R1	54	59	5	/
B8/THS6/R6	59	64	5	/
<b>Radni nalog C</b>				
C1/THS1/R1	3	10	7	3
C2/THS2/R2	10	15	5	/
C3/THS4/R4	15	24	9	/
C4/THS5/R5	24	31	7	/
C5/THS6/R6	31	36	5	/
C6/THS3/R3	41	48	7	5
C7/THS8/R8	56	63	7	8
C8/THS7/R7	66	72	6	3
<b>Radni nalog D</b>				
D1/THS5/R5	0	6	6	/
D2/THS4/R4	36	45	9	30
D3/THS1/R1	45	48	3	/
D4/THS8/R8	48	56	8	/
D5/THS7/R7	56	60	4	/
D6/THS3/R3	60	64	4	/
D7/THS6/R6	64	73	9	/
D8/THS2/R2	73	75	2	/

Radni nalog E				
E1/THS6/R6	0	7	7	/
E2/THS4/R4	7	15	8	/
E3/THS2/R2	19	21	2	4
E4/THS7/R7	24	26	2	3
E5/THS1/R1	26	29	3	/
E6/THS3/R3	29	35	6	/
E7/THS5/R5	35	40	5	/
E8/THS8/R8	40	45	5	/
Radni nalog F				
F1/THS8/R8	0	6	6	/
F2/THS2/R2	21	30	9	15
F3/THS4/R4	30	32	2	/
F4/THS7/R7	32	38	6	/
F5/THS6/R6	42	51	9	4
F6/THS5/R5	52	57	5	1
F7/THS3/R3	64	66	2	7
F8/THS1/R1	66	69	3	/
Radni nalog G				
G1/THS1/R1	0	3	3	/
G2/THS8/R8	6	8	2	3
G3/THS5/R5	8	16	8	/
G4/THS7/R7	16	24	8	/
G5/THS4/R4	24	30	6	/
G6/THS6/R6	36	42	6	6
G7/THS2/R2	42	47	5	/
G8/THS3/R3	48	56	8	1



Slika 60. Vremensko-troškovni profil za Shifting bottleneck/Tmax – DASH pravilo raspoređivanja i materijal na početku

U sledećoj tabeli su prikazani sumirano podaci o vremensko-troškovnom ulaganju i direktnim troškovima za sva primenjena pravila raspoređivanja.

Tabela 18. Podaci o vremensko-troškovnom ulaganju i direktnim troškovima

Pravilo	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje
CR	7.944,46	532.537,75
EDD	7.919,46	523.352,24
FCFS	7.944,46	571.479,44
LPT	7.944,46	490.644,88
MS	7.923,09	494.538,16
SPT	7.944,46	700.486,72
ATCS	7.944,46	569.263,03
SB routine (makespan)	7.935,15	428.989,06
Shifting Bottleneck/SUM(wT)	7.980,14	486.986,88
Local search (makespan)	7.898,16	405.816,59
Shifting bottleneck/Tmax	7.946,99	459.213,54

Kao što se može videti na osnovu rezultata, izražene su značajne razlike u iznosima vremensko-troškovnog ulaganja u zavisnosti od primenjenog pravila raspoređivanja.

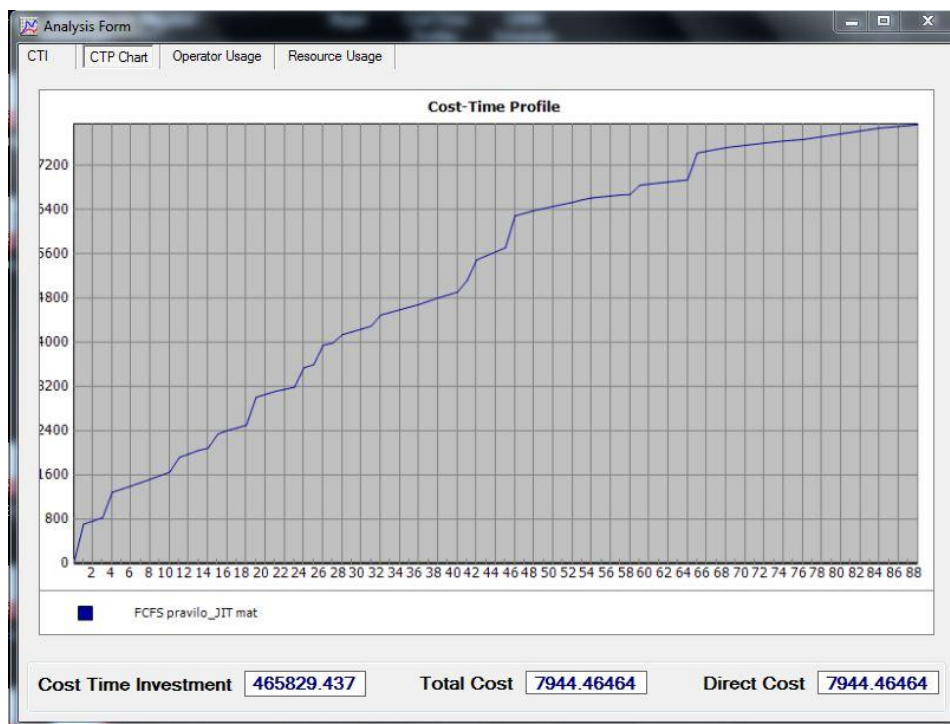
Sledeća mera čiji je uticaj na vremensko-troškovno ulaganje ispitivan jeste *Just In Time* ulazak materijala u proces i u tabeli 19 je prikazana cena materijala i redni broj operacije u kojoj se materijal pridružuje procesu. Ukupna cena materijala po radnom nalogu je ostala ista kao i u prethodnom slučaju. Ovde neće biti ponovo prikazivane tabele sa vremenima početka i završetka operacija u okviru radnih naloga jer su korišćeni svi podaci kao u prethodnom slučaju, nego će samo biti prikazani vremensko-troškovni profili za sva pravila raspoređivanja. Cena radnog sata po radniku je takođe ostala nepromenjena, kao i svi podaci koji se pridružuju tehnološkim sistemima, odnosno mašinama.

Tabela 19. Podaci o ceni materijala

Materijal			
Radni nalog	Redni broj operacije/cena materijala (EUR)	Redni broj operacije/cena materijala (EUR)	Redni broj operacije/cena materijala (EUR)
A	A1/50	A4/300	A7/500
B	B1/200	B5/150	
C	C1/400	C3/150	C5/450
D	D1/100	D4/450	
E	E1/100	E5/100	E8/300
F	F1/200	F3/300	
G	G1/200	G2/200	G6/150

U nastavku će biti prikazane samo slike vremensko-troškovnih profila za sva pravila raspoređivanja, jer podaci o vremenima operacija i terminski planovi su isti kao u prethodnom koraku istraživanja.

Slika 61. Vremensko-troškovni profil za CR pravilo raspoređivanja i *JIT* materijalSlika 62. Vremensko-troškovni profil za EDD pravilo raspoređivanja i *JIT* materijal

Slika 63. Vremensko-troškovni profil za FCFS pravilo raspoređivanja i *JIT* materijalSlika 64. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i *JIT* materijal



Slika 65. Vremensko-troškovni profil za MS pravilo raspoređivanja i *JIT* materijalSlika 66. Vremensko-troškovni profil za MS pravilo raspoređivanja i *JIT* materijal

Slika 67. Vremensko-troškovni profil za ATCS pravilo raspoređivanja i *JIT* materijalSlika 68. Vremensko-troškovni profil za SB Routine pravilo raspoređivanja i *JIT* materijal



Slika 69. Vremensko-troškovni profil za Shifting Bottleneck/SUM(wT) pravilo raspoređivanja i *JIT* materijal



Slika 70. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i *JIT* materijal



Slika 71. Vremensko-troškovni profil za Shifting Bottleneck- DASH pravilo raspoređivanja i *JIT* materijal

U tabeli broj 20 su prikazani sumirano podaci o vremensko-troškovnom ulaganju i direktnim troškovima za sva primenjena pravila raspoređivanja i *Just In Time* sistem ulaska materijala u proces.

Tabela 20. Podaci o vremensko-troškovnom ulaganju i direktnim troškovima za *JIT* ulazak materijala

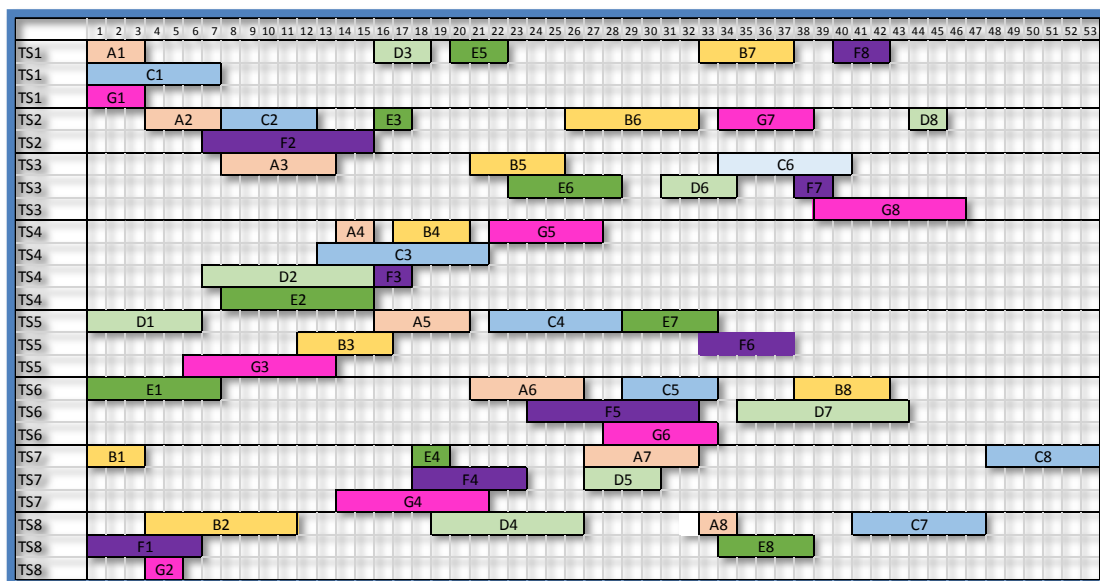
Pravilo	Direktni troškovi ( <i>JIT</i> materijal)	Vremensko-troškovno ulaganje ( <i>JIT</i> materijal)
CR	7.944,46	401.187,75
EDD	7.919,46	405.652,24
FCFS	7.944,46	465.829,44
LPT	7.944,46	366.394,88
MS	7.923,09	388.438,16
SPT	7.944,46	<b>591.986,72</b>
ATCS	7.944,46	451.863,03
SB routine (makespan)	7.935,15	328.539,06
Shifting Bottleneck/ SUM(wT)	7.980,14	392.886,88
Local search (makespan)	7.898,17	<b>312.616,59</b>
Shifting bottleneck/Tmax	7.946,99	352.113,54

Sledeća pretpostavka koja je uključena radi ispitivanja uticaja na vremensko-troškovno ulaganje jeste da je sistem doveden u stanje da su sva vremena čekanja eliminisana i da su tehnološki sistem i radnik raspoloživ u momentu kada je to potrebno za dati radni nalog.

Tabela 21. Podaci o aktivnostima za slučaj da nema čekanja u sistemu

Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)	Redni broj aktivnosti/ Tehnološki sistem/Radnik	Početak aktivnosti	Kraj aktivnosti	Vreme trajanja (h)
Radni nalog A				Radni nalog E			
A1/THS1/R1	0	3	3	E1/THS6/R6	0	7	7
A2/THS2/R2	3	7	4	E2/THS4/R4	7	15	8
A3/THS3/R3	7	13	6	E3/THS2/R2	15	17	2
A4/THS4/R4	13	15	2	E4/THS7/R7	17	19	2
A5/THS5/R5	15	20	5	E5/THS1/R1	19	22	3
A6/THS6/R6	20	26	6	E6/THS3/R3	22	28	6
A7/THS7/R7	26	32	6	E7/THS5/R5	28	33	5
A8/THS8/R8	32	34	2	E8/THS8/R8	33	38	5
Radni nalog B				Radni nalog F			
B1/THS7/R7	0	3	3	F1/THS8/R8	0	6	6
B2/THS8/R8	3	11	8	F2/THS2/R2	6	15	9
B3/THS5/R5	11	16	5	F3/THS4/R4	15	17	2
B4/THS4/R4	16	20	4	F4/THS7/R7	17	23	6
B5/THS3/R3	20	25	5	F5/THS6/R6	23	32	9
B6/THS2/R2	25	32	7	F6/THS5/R5	32	37	5
B7/THS1/R1	32	37	5	F7/THS3/R3	37	39	2
B8/THS6/R6	37	42	5	F8/THS1/R1	39	42	3
Radni nalog C				Radni nalog G			
C1/THS1/R1	0	7	7	G1/THS1/R1	0	3	3
C2/THS2/R2	7	12	5	G2/THS8/R8	3	5	2
C3/THS4/R4	12	21	9	G3/THS5/R5	5	13	8
C4/THS5/R5	21	28	7	G4/THS7/R7	13	21	8
C5/THS6/R6	28	33	5	G5/THS4/R4	21	27	6
C6/THS3/R3	33	40	7	G6/THS6/R6	27	33	6
C7/THS8/R8	40	47	7	G7/THS2/R2	33	38	5
C8/THS7/R7	47	53	6	G8/THS3/R3	38	46	8
Radni nalog D							
D1/THS5/R5	0	6	6				
D2/THS4/R4	6	15	9				
D3/THS1/R1	15	18	3				
D4/THS8/R8	18	26	8				
D5/THS7/R7	26	30	4				
D6/THS3/R3	30	34	4				
D7/THS6/R6	34	43	9				
D8/THS2/R2	43	45	2				

Na osnovu ovih podataka, napravljen je i terminski plan, s tim da je u ovom slučaju to urađeno ručno kako bi se videlo koliko zaista tehnoloških sistema treba da bi se sistem postavio tako da nema čekanja radnih naloga (slika 72). U ovom slučaju odvijanja proizvodnje bez čekanja svi radni nalozi se završavaju daleko pre planiranog roka isporuke, koji je jednak samom roku trajanja procesa proizvodnje za određeni radni nalog.



Slika 72. Terminski plan za slučaj kada nema čekanja radnih naloga na tehnološki sistem

Tabela 22. Podaci o rokovima završetka radnih naloga za slučaj da nema čekanja

Radni nalog	Planirani rok isporuke	Realizovani rok isporuke u slučaju da nema čekanja
A	79	34
B	67	42
C	76	53
D	81	45
E	69	38
F	73	42
G	60	46

Na sledećoj slici je prikazan i vremensko-troškovni profil za gore navedeni skup pretpostavki.

Slika 73. Vremensko-troškovni profil – bez čekanja i *JIT* ulazak materijala

Kao što se može videti na slici 73, vrednost vremensko-troškovnog ulaganje u ovom slučaju je daleko manja, jer se novac ne zadržava dugo u sistemu. U sledećem koraku istraživanja je izabran reprezentativni uzorak (tri pravila raspoređivanja radnih naloga – LPT, SPT i Local search) na osnovu minimalnih i maksimalnih vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja, uz pretpostavku Just In Time sistema ulaska materijala. Na tom uzorku su dalje ispitivanje mere unapređenja. Prva u nizu jeste da se cena materijala smanji za 15%, odnosno 30% i u nastavku će biti prikazani rezultati primene ove mere.



Slika 74. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 15%



Slika 75. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 15%

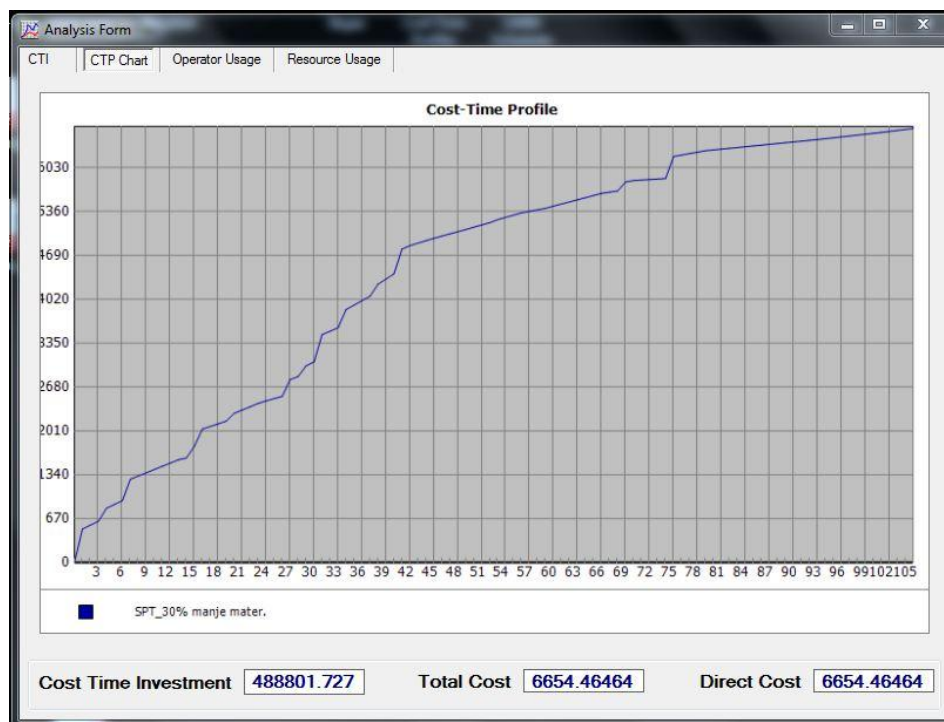


Slika 76. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 15%



Slika 77. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 30%





Slika 78. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 30%



Slika 79. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i smanjena cena materijala za 30%

U tabeli 23 su prikazani sumirano i uporedo podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja pre (*JIT* sistem ulaska materijala) i posle primene mere koja se odnosi na smanjenje cene materijala.

Tabela 23. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja cene materijala

Pravilo	15% jeftiniji materijal		30% jeftiniji materijal	
	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje
LPT	7.299,46	334.639,88	6.654,46	302.884,88
SPT	7.299,46	540.394,23	6.654,46	488.801,73
Local search (makespan)	7.253,16	284.656,59	6.608,16	256.696,59

Nakon smanjenja cene materijala, ispitivan je uticaj smanjenja cene radnog sata za svakog radnika angažovanog u procesu, a cena materijala je ponovo vraćena na početnu (Just In Time ulazak materijala u proces) i u nastavku su prikazani rezultati.



Slika 80. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 15%



Slika 81. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 15%



Slika 82. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 15%



Slika 83. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 30%



Slika 84. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 30%



Slika 85. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i smanjena cena radnog sata radnika za 30%

U tabeli 24 su prikazani sumirano i uporedo podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja pre i posle primene mere koja se odnosi na smanjenje cene radnog sata radnika.

Tabela 24. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja cene radnog sata radnika

Pravilo	15% jeftinija radna snaga		30% jeftinija radna snaga	
	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje
LPT	7.569,76	350.376,38	7.195,06	334.357,88
SPT	7.569,76	566.297,13	7.195,06	540.607,53
Local search (makespan)	7.523,47	299.325,39	7.148,77	286.034,19

Sledeća mera unapređenja se odnosila na smanjenje nabavne cene tehnoloških sistema i njihovog održavanja za 15%, odnosno 30%, dok je cena materijala (*Just In Time* ulazak materijala u proces) i radnog sata radnika ponovo vraćena na početnu i u nastavku su prikazani dobijeni rezultati.



Slika 86. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 15%



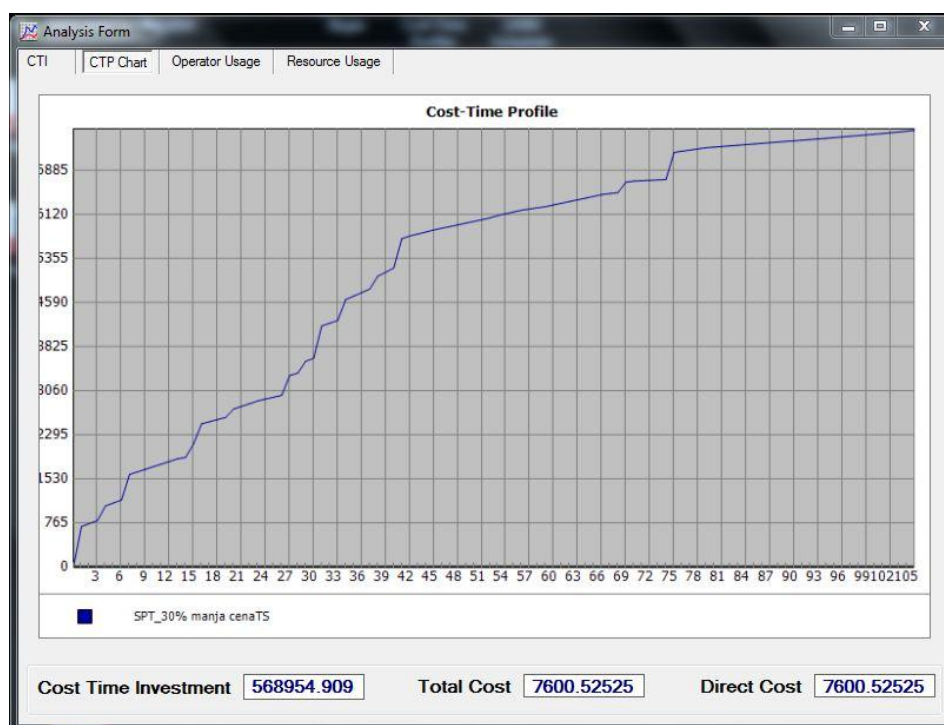
Slika 87. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 15%



Slika 88. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 15%



Slika 89. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 30%



Slika 90. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 30%



Slika 91. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i cena tehnoloških sistema smanjena za 30%



U tabeli 25 su prikazani sumirano i uporedno podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja pre i posle primene mere koja se odnosi na smanjenje cene tehnoloških sistema i njihovog održavanja.

Tabela 25. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja cene tehnoloških sistema i održavanja

Pravilo	15% jeftiniji tehnološki sistemi i održavanje		30% jeftiniji tehnološki sistemi i održavanje	
	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje
LPT	7.772,47	359.208,33	7.600,53	352.023,42
SPT	7.772,47	580.469,44	7.600,53	568.954,91
Local search (makespan)	7.733,12	306.974,66	7.568,12	301.334,01

Poslednja u nizu mera unapređenja je bila smanjenje vremena trajanja svih aktivnosti za 1 sat dok je cena materijala (*Just In Time* ulazak materijala u proces), radnog sata radnika i tehnoloških sistema ponovo vraćena na početnu i u nastavku su prikazani dobijeni rezultati.



Slika 92. Vremensko-troškovni profil za LPT pravilo raspoređivanja i vreme trajanja svake aktivnosti smanjeno za 1 sat



Slika 93. Vremensko-troškovni profil za SPT pravilo raspoređivanja i vreme trajanja svake aktivnosti smanjeno za 1 sat



Slika 94. Vremensko-troškovni profil za Local search pravilo raspoređivanja i vreme trajanja svake aktivnosti smanjeno za 1 sat

U tabeli 26 su prikazani uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja pre i posle primene mere koja se odnosi na smanjenje vremena trajanja svake aktivnosti za 1 sat.

Tabela 26. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja vremena trajanja aktivnosti za 1 sat

Pravilo	Vreme trajanja operacija smanjeno za 1 h ( <i>JIT</i> sistem ulaska materijala)	
	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje
LPT	7.341,81	316.019,82
SPT	7.256,34	447.032,73
Local search (makespan)	7.223,52	245.046,70

Kao što se može videti u tabeli, smanjenje vremena trajanja operacija značajno utiče na smanjenje vremensko-troškovnog ulaganja, ali i malim delom na direktne troškove, zbog kraćeg zadržavanja novca u sistemu.

## 5. DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

---

Struktura diskusije rezultata istraživanja će biti organizovana u skladu sa postavljenim istraživačkim pitanjima, postavljenim na početku izrade ove disertacije. Prvo istraživačko pitanje je glasilo:

*Na koji način je moguće integrisati vremenski-troškovno profil u mapu toka vrednosti proizvodnog procesa i na taj način identifikovati realne mogućnosti za poboljšanje efikasnosti procesa (optimizacija procesa na osnovu akumulirane vrednosti troškova u vremenu)?*

Cilj je zapravo bio da se ispita mogućnost dodavanja faktora troškova u proces mapiranja toka vrednosti proizvodnog procesa, a nakon toga da se analizira i akumulacija troškova u procesu. Odgovor je delimično dobijen na osnovu detaljne analize teorijskih podloga u oblastima mapiranja toka vrednosti, vremensko-troškovnog profila i lean računovodstva.

Mapiranje toka vrednosti se sprovodi sa ciljem identifikacije gubitaka u procesima, prvenstveno vremenskih gubitaka i predlaganja mera za unapređenje procesa kako bi se eliminisali gubici i na taj način smanjili troškovi. Tako da se smanjenje troškova u ovom smislu pojavljuje, na prvom mestu, kao posledica sprovedenih mera unapređenja. Ono što je izvesno je da do sada nije bilo saznanja da se u okviru kreiranja sadašnjeg i predlaganja budućeg, željenog stanja toka vrednosti uzimaju u razmatranje parametri troškova. Kada se to kaže, prvenstveno se misli da se u procesu prikupljanja podataka potrebnih za mapiranje toka vrednosti i vizuelizaciju stanja, uopšte ne prikupljaju podaci o troškovima. Međutim, ukoliko se zna da lean predstavlja kontinuirano unapređenje i nije moguće implementirati sve mere unapređenja istovremeno, veoma je onda korisno saznanje o tomo koliko se u kojoj aktivnosti unutar toka vrednosti akumulira troškova i koliko se ti troškovi zadržavaju u sistemu i onda i to uzeti u razmatranje prilikom predlaganja budućeg stanja toka vrednosti. Naime, veoma bi poželjno bilo organizovati tok vrednosti na način da se najveći deo vrednosti proizvodu dodaje što je moguće kasnije kako se novac ne bi mnogo zadržavao u sistemu. Takođe, značajno je i imati podatak koliko će ušteda vremena u nekoj aktivnosti ili procesu toka vrednosti doprineti smanjenju troškova u odnosu na uštedu na nekom drugom mestu, pa na taj način postavljati prioritete unapređenjima.

Prvi zaključak koji je moguće izvesti jeste da osnovni preduslov koji mora biti zadovoljen kako bi se postigao ovaj cilj je da preduzeće mora biti organizovano u tokove vrednosti, kako bi se došlo do jedinstvenog sistema računovodstva i obračuna troškova. Da bi se troškovi, kao novi parametar u analizi toka vrednosti, mogli uključiti neophodno je da se prikupljanje

i obrada finansijskih podataka u preduzeću organizuje po principima lean računovodstva, u čijoj osnovi se nalazi obračun troškova zasnovan na toku vrednosti. To podrazumeva da svi troškovi u preduzeću postaju direktni i moguće ih je pridružiti nekom od tokova vrednosti u preduzeću. U okviru ove disertacije, dosta prostora je posvećeno analizi postojećih obračuna troškova, kao i njihovim prednostima i nedostacima, ali jedno je sigurno da u ovoj oblasti je jedino ispravno primeniti onaj system računovodstva koji posmatra sve troškove kao direktne i moguće ih je pridružiti tokovima vrednosti.

S obzirom da strukturu troškova u okviru sistema obračuna troškova po toku vrednosti čine radna snaga, materijal, mašine i oprema, podrška proizvodnji, podrška operacijama, postrojenja i održavanje i ostali troškovi, svaki od ovih troškova treba da se pridruži u onom obimu koliko određeni tok vrednosti koristi neke od ovih resursa i da se podaci o tim troškovima takođe prikupljaju i beleže na mapi toka vrednosti.

Drugo istraživačko pitanje:

*Koje raspoložive mere (skraćenje vremena faze procesa koja ne dodaje novu vrednost proizvodu, skraćenje vremena trajanja proizvodnih operacija ili sniženje njihovih troškova, sniženje troškova ulaznih materijala) najviše doprinose povećanju efikasnosti proizvodnog procesa?*

U strukturi istraživanja koje se odnosi na ovo istraživačko pitanje krenulo se od pretpostavke da različita pravila raspoređivanja radnih naloga, utiču na promenu vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja, što je na prvom mestu dokazano. U tabeli 27 su prikazani podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja, uz pretpostavku da se kompletan materijal potreban za određeni radni nalog dostavlja na početku realizacije radnog naloga.

Tabela 27. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za različita pravila terminiranja

Pravilo	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje – Materijal na početku procesa	Rok završetka
CR	7.944,46	532.537,75	89
EDD	7.919,46	523.352,24	87
FCFS	7.944,46	571.479,44	89
LPT	7.944,46	490.644,88	81
MS	7.923,09	494.538,16	82
SPT	<b>7.944,46</b>	<b>700.486,72</b>	<b>106</b>
ATCS	7.944,46	569.263,03	93
SB routine (makespan)	7.935,15	428.989,06	71
Shifting Bottleneck/SUM(wT)	7.980,14	486.986,88	78
Local search (makespan)	<b>7.898,16</b>	<b>405.816,59</b>	<b>67</b>
Shifting bottleneck/Tmax	7.946,99	459.213,54	75

Na osnovu podataka u tabeli, može se zaključiti da pravilo raspoređivanja radnih naloga značajno utiče na vrednost vremensko-troškovnog ulaganja. Ukoliko se uporedi odnos dva granična rezultata, minimalno i maksimalno vremensko-troškovno ulaganje, ta razlika ide i preko 70% što nesumnjivo dovodi do zaključka da pravilo raspoređivanja ima izuzetan uticaj na vremensko-troškovno ulaganje i može se koristiti kao dodatni parametar pri donošenju odluka na operativnom nivou. Kada govorimo o ukupnim direktnim troškovima, razlika je zanemarljivo mala i nema nikakav uticaj na donošenje odluke pri izboru odgovarajućeg pravila raspoređivanja radnih naloga. Ovo smanjenje vremensko-troškovnog ulaganja je u direktnoj povezanosti sa skraćanjem vremena ukupne obrade svih radnih naloga, odnosno novac se mnogo kraće zadržava u sistemu. Ovaj zaključak je potvrđen i u istraživanju koje je autor ove disertacije sproveo na drugom uzorku podataka (Gračanin et al., 2013).

#### Mera unapređenja – Just In Time sistem ulaska materijala u proces

U istraživanju je dalje potvrđeno, da ukoliko se u okviru istog pravila raspoređivanja primeni JIT sistem ulaska materijala, umesto ulaska kompletnog materijala na početku procesa obrade radnog naloga, dolazi do značajne promene vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja, čak 31% (tabela 28). Na osnovu ovih podataka dolazi se do zaključka da JIT sistem ulaska materijala u proces ima izuzetan značaj na smanjenje vremensko-troškovnog ulaganja, te stoga treba uzeti u obzir prilikom definisanja prioriteta mera unapređenja koja će biti implementirana u neki sistem. A da bi se potpuno razumeo ovaj uticaj promena, važno je napomenuti da u ovom slučaju koji se ispituje, materijal predstavlja oko 54% ukupnih troškova.

Tabela 28. Uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za različite sisteme ulaska materijala u proces

Pravilo	Vremensko-troškovno ulaganje – Materijal na početku procesa	Vremensko-troškovno ulaganje – JIT materijal	Smanjenje ulaganja izraženo u procentima
CR	532.537,75	401.187,75	25%
EDD	523.352,24	405.652,24	22%
FCFS	571.479,44	465.829,44	18%
LPT	490.644,88	366.394,88	25%
MS	494.538,16	388.438,16	21%
SPT	700.486,72	591.986,72	15%
ATCS	569.263,03	<b>451.863,03</b>	20%
SB routine (makespan)	428.989,06	328.539,06	23%
Shifting Bottleneck/SUM(wT)	486.986,88	392.886,88	19%
Local search (makespan)	405.816,59	<b>312.616,59</b>	23%
Shifting bottleneck/Tmax	459.213,54	352.113,54	23%

U tom slučaju, maksimalna vrednost vremensko-troškovnog ulaganja je čak 89% veća od minimalnog (jer je smanjen uticaj troškova materijala) i raspoređivanje radnih naloga bitno utiče. Ako u ovom slučaju govorimo o ukupnim direktnim troškovima, razlike ne postoje (tabela 29), tako da se ne uzima u razmatranje prilikom donošenja odluke, jer JIT sistem ulaska materijala nema uticaj na iznos ukupnih direktnih troškova.

Tabela 29. Uporedni podaci o vrednostima direktnih troškova

Pravilo	Direktni troškovi – Materijal na početku procesa	Direktni troškovi – JIT materijal
CR	7.944,46	7.944,46
EDD	7.919,46	7.919,46
FCFS	7.944,46	7.944,46
LPT	7.944,46	7.944,46
MS	7.923,09	7.923,09
SPT	7.944,46	7.944,46
ATCS	7.944,46	7.944,46
SB routine (makespan)	7.935,15	7.935,15
Shifting Bottleneck/SUM(wT)	7.980,14	7.980,14
Local search (makespan)	7.898,16	7.898,17
Shifting bottleneck/Tmax	7.946,99	7.946,99

#### Mera unapređenja – smanjenje cene materijala za 15 i 30%

Ispitivanje uticaja ostalih mera unapređenja je sprovedena na uzorku od samo tri pravila raspoređivanja, koji su izabrani na osnovu maksimalnih i minimalnih vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja (LPT i SPT) i izabrano je jedno pravilo iz grupe heurističkih pravila raspoređivanja (Local search) koje u grupi daje najnižu vrednost ulaganja. Poređenje uticaja mera unapređenja je vršeno u odnosu na rezultate dobijene primenom Just In Time sistema ulaska materijala.

Tabela 30. Uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja cene materijala

Pravilo	Početno stanje – JIT materijal		15% jeftiniji materijal		30% jeftiniji materijal	
	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje
LPT	7.944,46	<b>366.394,88</b>	7.299,46	<b>334.639,88</b>	6.654,46	<b>302.884,88</b>
SPT	7.944,46	<b>591.986,72</b>	7.299,46	<b>540.394,23</b>	6.654,46	<b>488.801,73</b>
Local search (makespan)	7.898,16	<b>312.616,59</b>	7.253,16	<b>284.656,59</b>	6.608,16	<b>256.696,59</b>

Na osnovu podataka prikazanih u tabeli 30, može se zaključiti da mera unapređenja koja se odnosi na smanjenje cene materijala za 15%, odnosno 30% u odnosu na početno stanje, za sva tri ispitana pravila raspoređivanja, doprinosi smanjenju vrednosti vremensko-troškovnog

ulaganja za oko 9%, odnosno 18% za sva tri posmatrana pravila raspoređivanja. Kada je reč o vrednostima ukupnih direktnih troškova, ovaj put i tu dolazi do smanjenja, ali zato što je materijal direktan trošak i samim tim direktno i utiče na ukupne troškove.

#### Mera unapređenja – smanjenje cene radnog sata radnika za 15 i 30%

Kada se govori o meri unapređenja koja se odnosi na smanjenje cene radnog sata svakog radnika koji učestvuje u procesu, dobijeni podaci ukazuju na manji uticaj ove mere na smanjenje vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja (tabela 31). Za meru smanjenja cene radnog sata za 15%, odnosno 30%, dolazi do smanjenja vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja od svega 4%, odnosno 8% za sva tri posmatrana pravila raspoređivanja. Ukupni direktni troškovi su naravno manji, jer je smanjena vrednost pojedinačnog direktnog troška (troškovi radne snage).

Tabela 31. Uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja cene radnog sata radnika

Pravilo	Početno stanje – JIT materijal		15% jeftinija radna snaga		30% jeftinija radna snaga	
	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje
LPT	7.944,46	<b>366.394,88</b>	7.569,76	<b>350.376,38</b>	7.195,06	<b>334.357,88</b>
SPT	7.944,46	<b>591.986,72</b>	7.569,76	<b>566.297,13</b>	7.195,06	<b>540.607,53</b>
Local search (makespan)	7.898,16	<b>312.616,59</b>	7.523,47	<b>299.325,39</b>	7.148,77	<b>286.034,19</b>

#### Mera unapređenja – smanjenje nabavne cene tehnoloških sistema i njihovog održavanja za 15 i 30%

Smanjenje cene tehnoloških sistema i održavanja, za 15, odnosno 30% pokazuje jako mali uticaj na smanjenje vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja, koje zapravo iznosi oko 2%, odnosno oko 4% za sva tri analizirana pravila raspoređivanja (tabela 32).

Tabela 32. Uporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja cene tehnološkog sistema i održavanja

Pravilo	Početno stanje – JIT materijal		15% jeftiniji tehnološki sistemi i održavanje		30% jeftiniji tehnološki sistemi i održavanje	
	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje
LPT	7.944,46	<b>366.394,88</b>	7.772,47	<b>359.208,33</b>	7.600,53	<b>352.023,42</b>
SPT	7.944,46	<b>591.986,72</b>	7.772,47	<b>580.469,44</b>	7.600,53	<b>568.954,91</b>
Local search (makespan)	7.898,16	<b>312.616,59</b>	7.733,12	<b>306.974,66</b>	7.568,12	<b>301.334,01</b>



Mera unapređenja – skraćanje vremena trajanja operacija za 1 sat

Skraćanje vremena trajanja svih aktivnosti, odnosno operacija unutar svih radnih naloga za 1 sat (što predstavlja 8 sati kraće vreme trajanja operacija unutar svakog radnog naloga) ima različit uticaj na smanjenje vremensko-troškovnog ulaganja za različita pravila raspoređivanja (tabela 33).

Tabela 33. Usporedni podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za meru smanjenja vremena trajanja operacija

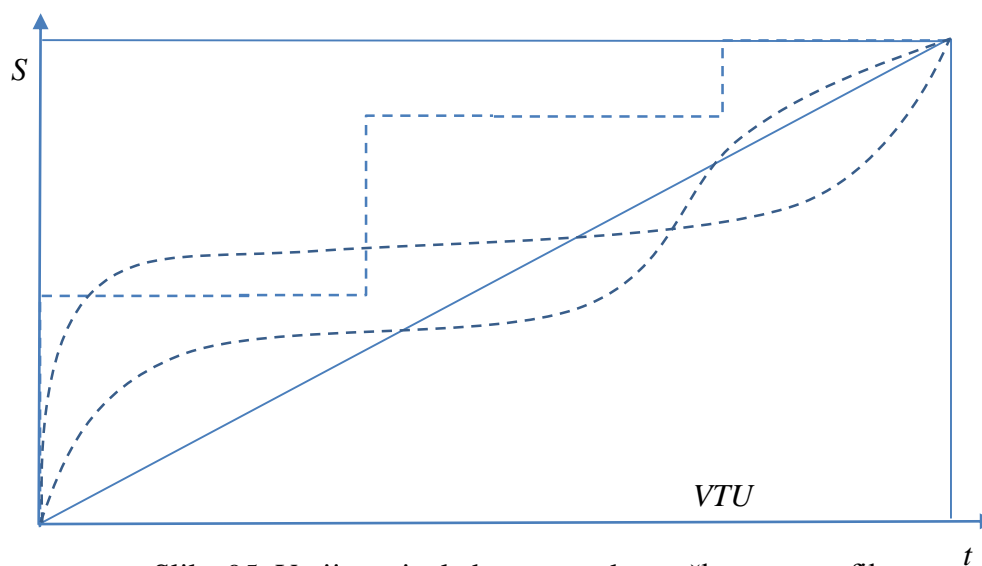
Pravilo	Početno stanje – <i>JIT</i> materijal		Vreme trajanja operacija smanjeno za 1 h ( <i>JIT</i> sistem ulaska materijala)	
	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje
LPT	7.944,46	<b>366.394,88</b>	7.341,81	<b>316.019,82</b>
SPT	7.944,46	<b>591.986,72</b>	7.256,34	<b>447.032,73</b>
Local search (makespan)	7.898,16	<b>312.616,59</b>	7.223,52	<b>245.046,70</b>

U slučaju LPT pravila raspoređivanja, postignuto smanjenje vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja je oko 14%, u slučaju SPT pravila raspoređivanja postignuto je smanjenje od oko 25%, dok je u slučaju primene heurističkog pravila Local search, vrednost vremensko-troškovnog ulaganja smanjena za oko 22%. U ovom slučaju prvi put pojavljuje se i uticaj na ukupne direktne troškove, ali iz razloga što se i tehnološki sistemi i radna snaga koriste kraće vreme.

Mera unapređenja – Podešavanje sistema da se proces odvija bez čekanja

Od svih ispitanih uticaja mera unapređenja na vrednost vremensko-troškovnog ulaganja, najznačajniji uticaj na smanjenje vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja ima postavka sistema na takav način da se elimiše sva čekanja radnih naloga na tehnološki sistem i radnika. U ovom slučaju se ne primenjuje nijedno od navedenih pravila raspoređivanja, pa je nemoguće izvršiti neko konkretno međusobno poređenje. Ali vrednost vremensko-troškovnog ulaganja u ovom slučaju iznosi 281.080 novčanih jedinica, što je definitivno najmanja vrednost od svih do sada prikazanih (10% niža od minimalne vrednosti vremensko-troškovnog ulaganja u slučaju JIT ulaska materijala). Kada su u pitanju direktni troškovi, oni iznose 7.944 novčane jedinice, što je slično kao u svim prethodno navedenim slučajevima, tako da ova mera unapređenja nema nikakav uticaj na vrednost ukupnih direktnih troškova.

## 5.1 KOEFICIJENT ULAGANJA



Slika 95. Varijante izgleda vremensko-troškovnog profila

Na slici 95 su prikazane različite varijante izgleda vremensko-troškovnog profila. Dijagonalna linija predstavlja slučaj kada je ulaganje ravnomerno (linearan rast ukupnih troškova kroz celokupni ciklus) koja će poslužiti kao referentna linija za poređenje. Na x-osi se prikazuje vreme ( $t$ ), dok na y-osi se prikazuju direktni troškovi ( $S$ ). I kao što je već napomenuto, cilj je da se površina koja se obrazuje ispod krive koja reprezentuje vremensko-troškovni profil smanji, odnosno da se smanji vrednost vremensko-troškovnog ulaganja. Kao rezultat analize rezultata istraživanja, uveden je koeficijent ulaganja koji se može izračunati pomoću sledeće formule:

$$K_u = \frac{P}{P_{\Delta}} = \frac{2 * VTU}{t * S}$$

gde su  $K_u$  – koeficijent ulaganja,  $VTU$  – vremensko-troškovno ulaganje,  $t$  – vreme i  $S$  – ukupni direktni troškovi. Moguća vrednost koeficijenta ulaganja  $K_u$  je od 0 do 2 ( $0 < K_u < 2$ ).

Tabela 34. Koeficijent ulaganja za slučaj ulaska materijala na početku procesa

Pravilo	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje – Materijal na početku procesa	Rok završetka	Koeficijent ulaganja
CR	7.944,46	532.537,75	89	1,50
EDD	7.919,46	523.352,24	87	1,52
FCFS	7.944,46	571.479,44	89	1,62
LPT	7.944,46	490.644,88	81	1,53
MS	7.923,09	494.538,16	82	1,52
SPT	<b>7.944,46</b>	<b>700.486,72</b>	<b>106</b>	1,67
ATCS	7.944,46	569.263,03	93	1,54

SB routine (makespan)	7.935,15	428.989,06	71	1,52
Shifting Bottleneck/SUM(wT)	7.980,14	486.986,88	78	1,56
Local search (makespan)	<b>7.898,16</b>	<b>405.816,59</b>	<b>67</b>	1,53
Shifting bottleneck/Tmax	7.946,99	459.213,54	75	1,54

Tabela 35. Koeficijent ulaganja za slučaj *JIT* sistema ulaska materijala

Pravilo	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje – <i>JIT</i> sistem ulaska materijala	Rok završetka	Koeficijent ulaganja
CR	7.944,46	401.187,75	89	1,13
EDD	7.919,46	405.652,24	87	1,18
FCFS	7.944,46	465.829,44	89	1,32
LPT	7.944,46	366.394,88	81	1,14
MS	7.923,09	388.438,16	82	1,20
SPT	7.944,46	591.986,72	106	1,41
ATCS	7.944,46	451.863,03	93	1,22
SB routine (makespan)	7.935,15	328.539,06	71	1,17
Shifting Bottleneck/SUM(wT)	7.980,14	392.886,88	78	1,26
Local search (makespan)	7.898,16	312.616,59	67	1,18
Shifting bottleneck/Tmax	7.946,99	352.113,54	75	1,18
Bez čekanja	7.944,46	281.080,93	53	1,33

U tabelama 34 i 35 su izračunati koeficijenti ulaganja za sva pravila raspoređivanja i slučajeve kada materijal odmah ulazi na početku procesa i *JIT* sistem ulaska materijala. Na osnovu dobijenih rezultata se pre svega može zaključiti da se unutar istog sistema ulaska materijala dobijaju različite vrednosti koeficijenta ulaganja za različita pravila raspoređivanja, dok u slučaju *JIT* sistema ulaska materijala koeficijent ulaganja ima znatno niže vrednosti i evidentno se može koristiti za ocenu uticaja određenih mera unapređenja na vremensko-troškovno ulaganje. Takođe, u okviru tabele 35 je prikazan i slučaj kada je sistem organizovan na način da nema čekanja, a materijal ulazi po *JIT* sistemu.

Tabela 36. Podaci o vrednostima vremensko-troškovnog ulaganja za Local search pravilo raspoređivanja i primenjene mere unapređenja

Mera unapređenja	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje	Rok završetka
<i>JIT</i> sistem ulaska materijala	7.898	312.616	67
<i>JIT</i> ulazak materijala, 15% jeftiniji materijal	7.253	284.656	67
<i>JIT</i> ulazak materijala, 30% jeftiniji materijal	6.608	256.696	67
<i>JIT</i> ulazak materijala, 15% jeftiniji radni sat za svakog angažovanog radnika	7.523	299.325	67
<i>JIT</i> ulazak materijala, 30% jeftiniji radni sat za svakog angažovanog radnika	7.148	286.034	67
<i>JIT</i> ulazak materijala, 15% niža nabavna cena tehnoloških sistema i održavanja	7.733	306.974	67
<i>JIT</i> ulazak materijala, 30% niža nabavna cena tehnoloških sistema i održavanja	7.568	301.334	67
<i>JIT</i> ulazak materijala, 1 h kraće vreme trajanja operacija	7.223	245.046	56

Za najbolje rešenje raspoređivanja radnih naloga uz primenu Local search heurističkog pravila (primena ovog algoritma daje najkraće vreme trajanja procesa) izračunat je koeficijent ulaganja  $K_u$  (na osnovu podataka prikazanih u tabeli 36) i nakon svake uvedene mere dobijeni su sledeći rezultati:

- *JIT* ulazak materijala: 1,18
- *JIT* ulazak materijala, 15% jeftiniji materijal: 1,17
- *JIT* ulazak materijala, 30% jeftiniji materijal: 1,16
- *JIT* ulazak materijala, 15% jeftiniji radni sat za svakog angažovanog radnika: 1,19
- *JIT* ulazak materijala, 30% jeftiniji radni sat za svakog angažovanog radnika: 1,19
- *JIT* ulazak materijala, 15% niža nabavna cena tehnoloških sistema i održavanja: 1,18
- *JIT* ulazak materijala, 30% niža nabavna cena tehnoloških sistema i održavanja: 1,19
- *JIT* ulazak materijala, 1 h kraće vreme trajanja operacija ( $t = 56$ ): 1,21

Vrednosti  $K_u$  ispod 1,5 možemo smatrati kao dobre, a vrednosti ispod 1 bi bile odlične.

Koeficijent ulaganja bi takođe bilo interesantno izračunati za planirano – fiksno vreme ( $t_p$ ) prema sledećoj formuli:

$$K_{up} = \frac{P}{P_{\Delta}} = \frac{2 * VTU}{t_p * S}$$

U ovom slučaju definisano planirano vreme iznosi 90 sati i u tabeli 37 su prikazane vrednosti koeficijenta ulaganja za planirano – fiksno vreme  $K_{up}$ . Koeficijent ulaganja za ovo planirano vreme je izračunat za sve slučajeve rasporeda radnih naloga kada je ostvareni rok završetka u granicama planiranog.

Tabela 37. Koeficijent ulaganja za planirano vreme

Pravilo	Direktni troškovi	Vremensko-troškovno ulaganje – Materijal na početku procesa	Rok završetka	Koeficijent ulaganja
CR	7.944,46	532.537,75	90	1,48
EDD	7.919,46	523.352,24	90	1,47
FCFS	7.944,46	571.479,44	90	1,60
LPT	7.944,46	490.644,88	90	1,37
MS	7.923,09	494.538,16	90	1,39
SPT	7.944,46	700.486,72	106	1,67
ATCS	7.944,46	569.263,03	93	1,54
SB routine (makespan)	7.935,15	428.989,06	90	1,20
Shifting Bottleneck/SUM(wT)	7.980,14	486.986,88	90	1,36
Local search (makespan)	7.898,16	405.816,59	90	1,14
Shifting bottleneck/Tmax	7.946,99	459.213,54	90	1,28
Bez čekanja	7.944,46	281.080,93	90	0,78

Kako je gore navedeno da se sve vrednosti koeficijenta ulaganja ispod 1,5 mogu smatrati dobrim, a vrednosti ispod 1 čak odličnim, pokazalo se da realizacija radnih naloga u okviru prethodno definisanog planiranog vremena daje dobre rezultate i vrednosti koeficijenta, te se stoga preporučuje primena i ovog principa, kao jedne mere unapređenja.

## 5.2 KOEFICIJENT EFIKASNOSTI MERA UNAPREĐENJA

Na osnovu sprovedenog istraživanja i dobijenih rezultata, došlo se do zaključka da je moguće takođe izračunati i koeficijent efikasnosti mera unapređenja, pomoću formule:

$$K_{ef} = 1 - \frac{VTU_{mu}}{VTU_p}$$

gde su  $VTU_{mu}$  – vremensko-troškovno ulaganje dobijeno primenom neke mere unapređenja, a  $VTU_p$  – početna vrednost vremensko-troškovnog ulaganja. Koeficijent efikasnosti može imati vrednost od 0 (bez unapređenja) do 1 (maksimalno unapređenje). Na osnovu poređenja vrednosti koeficijenta efikasnosti za različite primenjene mere unapređenja, moguće je pre svega utvrditi efikasnost određene mere, a nakon toga napraviti i prioritet primenjivanja istih.

Tabela 38. Koeficijent efikasnosti mera

Pravilo	Vremensko-troškovno ulaganje – Materijal na početku procesa	Vremensko-troškovno ulaganje – <i>JIT</i> materijal	Koeficijent efikasnost
CR	532.537,75	401.187,75	0,25
EDD	523.352,24	405.652,24	0,23
FCFS	571.479,44	465.829,44	0,19
LPT	490.644,88	366.394,88	0,25
MS	494.538,16	388.438,16	0,22
SPT	700.486,72	591.986,72	0,15
ATCS	569.263,03	451.863,03	0,21
SB routine (makespan)	428.989,06	328.539,06	0,24
Shifting Bottleneck/SUM(wT)	486.986,88	392.886,88	0,20
Local search (makespan)	405.816,59	312.616,59	0,23
Shifting bottleneck/Tmax	459.213,54	352.113,54	0,23

Tamo gde je veliko učešće ljudskog rada, verovatno će mnogo prihvatljivije biti mere koje se bave redukcijom troškova u ovom području i slično:

- *JIT* ulazak materijala, 15% jeftiniji materijal: 0,30
- *JIT* ulazak materijala, 30% jeftiniji materijal: 0,37
- *JIT* ulazak materijala, 15% jeftiniji radni sat za svakog angažovanog radnika: 0,26
- *JIT* ulazak materijala, 30% jeftiniji radni sat za svakog angažovanog radnika: 0,30
- *JIT* ulazak materijala, 15% niža nabavna cena tehnoloških sistema i održavanja: 0,24
- *JIT* ulazak materijala, 30% niža nabavna cena tehnoloških sistema i održavanja: 0,26
- *JIT* ulazak materijala, 1 h kraće vreme trajanja operacija ( $t = 56$ ): 0,40

Na osnovu dobijenih vrednosti koeficijenata, pokazuje se da je najefikasnija mera, uz primenu *JIT* sistema ulaska materijala, skraćenje vremena trajanja operacija za 1 sat. Isto tako efikasna mera je i smanjenje cene materijala za 30%. Sve ove zakonitosti važe za ovaj slučaj, u kom troškovi materijala čine 54% ukupnih troškova. Ovo je napomenuto iz razloga što različiti tokovi vrednosti, odnosno proizvodni procesi, imaju različit odnos i učešće po vrstama direktnih troškova u ukupnim troškovima. Tako da će različite mere, biti više ili manje prihvatljive u zavisnosti upravo od ove strukture i rasporeda troškova. Tamo gde je veliko učešće ljudskog rada, verovatno će mnogo prihvatljivije biti mere koje se bave redukcijom troškova u ovom području i slično.

Poslednje istraživačko pitanje se odnosi na oblast primene simulacije diskretnih događaja i glasi:

*Na koji način je moguće podržati proces donošenja odluka o potrebnim merama unapređenja, uz korišćenje simulacije diskretnih događaja?*

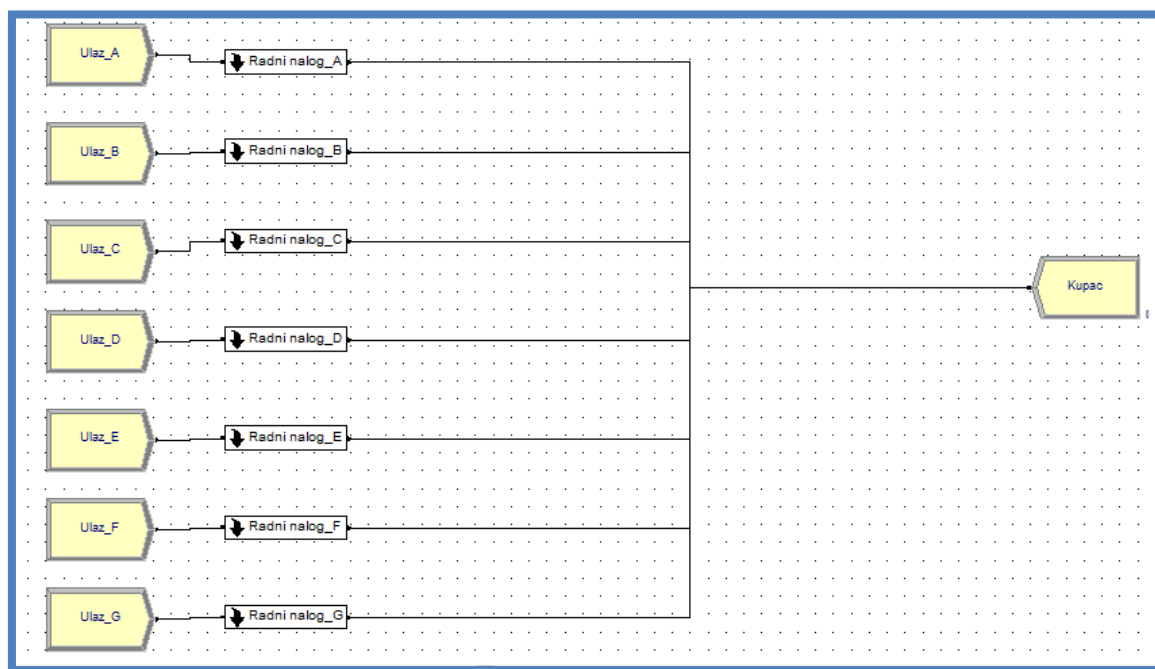
Odgovor na ovo pitanje prvenstveno dolazi iz analize prednosti koje omogućavaju simulacije diskretnih događaja kao i softveri koji su tu neizostavan sastavni deo. Simulacija pre svega ima dve ključne odrednice a to su grafička reprezentacija realnog sistema putem simulacionog modela i interakcija sa korisnikom. Za korisnika je veoma značajno, posebno u slučaju kompleksnih sistema, da može da dinamički vizuelizuje svoj problem unutar sistema, predstavi ga grafički i kroz niz analiza, prognoza ponašanja parametara sistema, izveštaja i slično maksimalno doda vrednost svom sistemu i odluči koja od ispitanih i testiranih opcija najviše pogoduje trenutnom stanju sistema. Najvažnija prednost je da korisnik, kada napravi validan model realnog sistema (što nije jednostavan posao koji zahteva vreme i novac) i dobro postavi parametre koji su elementi njegovih kriterijuma odlučivanja, ima mogućnost da poredi različite strategije i identifikuje najbolju opciju u datom trenutku. Važno je napomenuti naravno dinamičnost sistema i okruženja, ali jednom dobro napravljen model može jednostavno biti ažuriran sa novim podacima i zato je važno imati na umu da određeno rešenje je možda optimalno u "datom trenutku", a u sledećem već možda i nije. Opet, naravno važno je napomenuti da simulacija ne daje odgovor koje rešenje je najbolje, to je već na korisniku da odluči koja opcija najbolje zadovoljava sve postavljene kriterijume odlučivanja. Elementi jedne simulacije diskretnih događaja su pre svega privremeni entiteti (transakcije, radni nalozi), njihovi atributi i stalni entiteti (resursi) čije se ponašanje prati tokom izvođenja simulacije u smislu praćenja događaja, vremena realizacije, formiranje redova čekanja, pa čak i troškova. Proces se u ovom smislu onda posmatra kao niz događaja i prati se kretanje entiteta kroz različita stanja u sistemu tokom vremena. S tim da je najvažnija komponenta koja se analizira opet vreme. Takođe je veoma važna mogućnost praćenja interakcije između stalnih i privremenih entiteta, odnosno način na koji radni nalozi koriste resurse i kako se međusobno takoreći nadmeću za određeni resurs. Ono što još ide u prilog značaju simulacija je da se omogućava analizu različitih nivoa detaljnosti i složenosti sistema, ali kao što se ne može isključiti u potpunosti ljudski faktor, ne može se isključiti i neizvesnost okruženja.

S druge strane, proizvodne organizacije obavezno moraju da kreiraju terminske planove kako bi omogućili koordinaciju aktivnosti i precizno definisali prioritete i način na koji se raspoloživi kapaciteti koriste kako bi se izbegli konflikti unutar sistema i obezbedila isporuka na vreme. Ali kao što su sistemi dinamični i menjaju se u skladu sa internim i i promenama iz okruženja, tako su i terminski planovi podložni promenama. I u ovom segmentu simulacija može da olakša posao u smislu da omogući grafički prikaz izvođenja

radnih naloga unutar jednog terminskog plana i da se kroz izvođenje određenog broja simulacija u vremenu utvrdi da li će se stvari odvijati na način kako je zamišljeno terminskim planom. Ono što karakteriše neka proizvodna preduzeća je poprilično ad hoc pristup planiranju što može dovesti definitivno do neispunjavanja zahteva kupaca.

U kontekstu ove disertacije i konkretno postavljenog istraživačkog pitanja, simulacija diskretnih događaja i softver mogu koristiti kao jedan od dodatnih alata za podršku procesu odlučivanja. S obzirom da je u okviru drugog istraživačkog pitanja korišćen softver Cost-Time Profiler i on se može svrstati u neku kategoriju simulacionih softvera jer služi upravo za simulaciju akumulacije troškova u zavisnosti od zadatih parametara sistema. Tako da će ovde najviše biti predstavljen samo još taj jedan nivo detaljnosti i prednost grafičkog predstavljanja sistema.

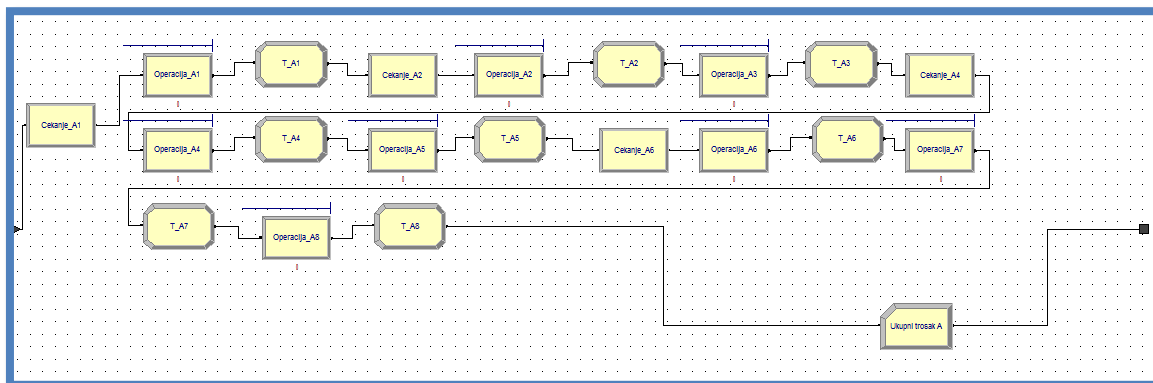
Za ove potrebe je izabrano jedno pravilo raspoređivanja, LPT, i izgled osnovnog modela napravljenog u softveru Arena je prikazan na slici 96.



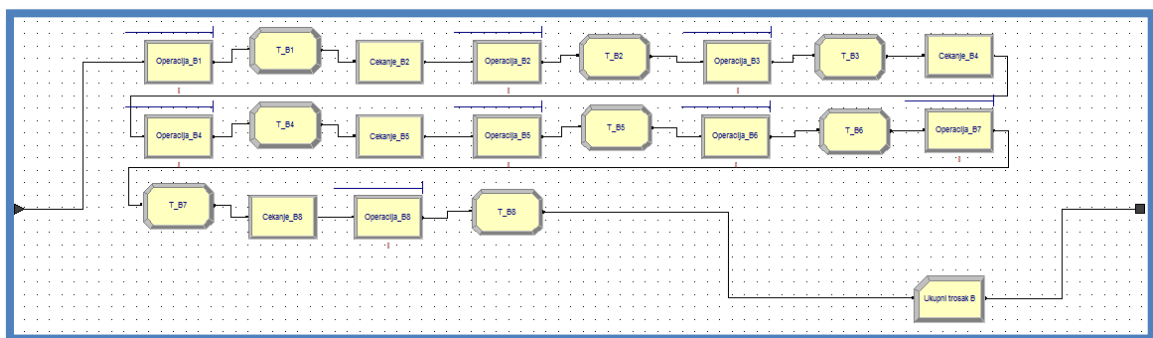
Slika 96. Osnovni model procesa

Za svaki radni nalog je napravljen poseban podmodel i na slikama u nastavku će biti prikazani svi podmodeli. Podaci o vremenima trajanja operacija unutar radnih naloga su korišćeni iz softvera LEKIN a podaci o troškovima za svaku operaciju su izračunati na osnovu podataka dobijenih u softveru Cost-Time Profiler.

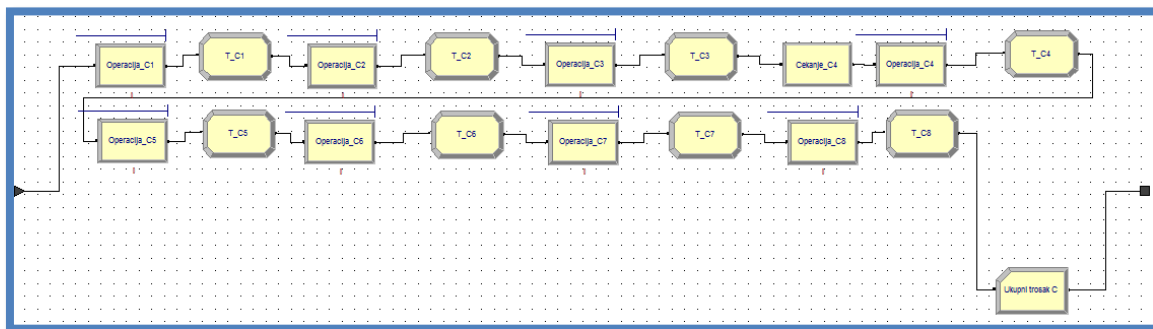




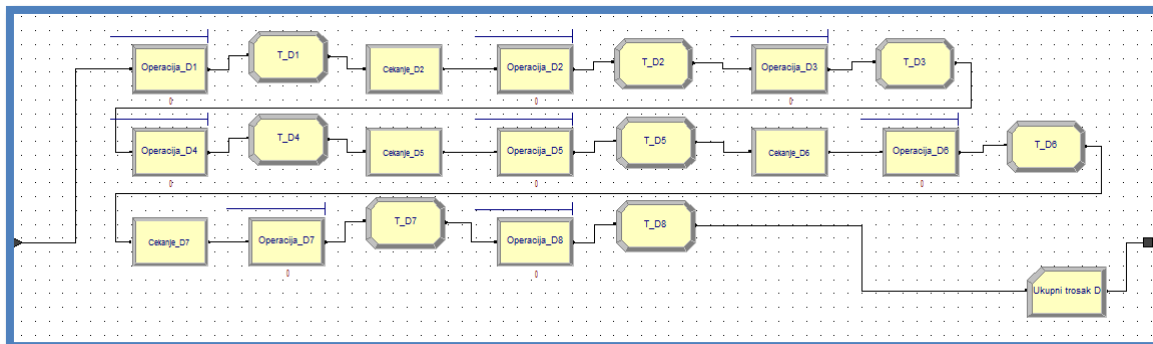
Slika 97. Podmodel za radni nalog A



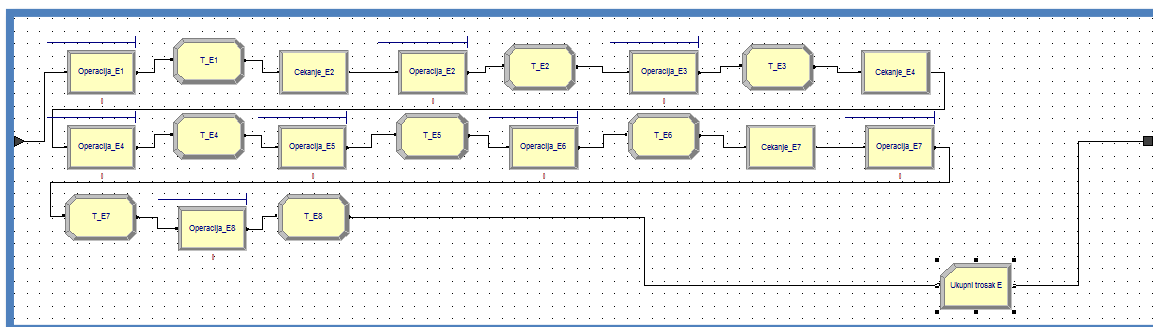
Slika 98. Podmodel za radni nalog B



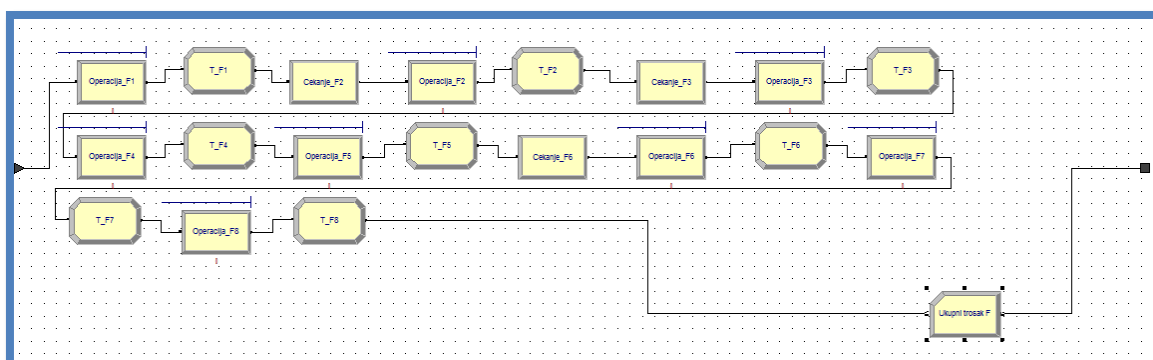
Slika 99. Podmodel za radni nalog C



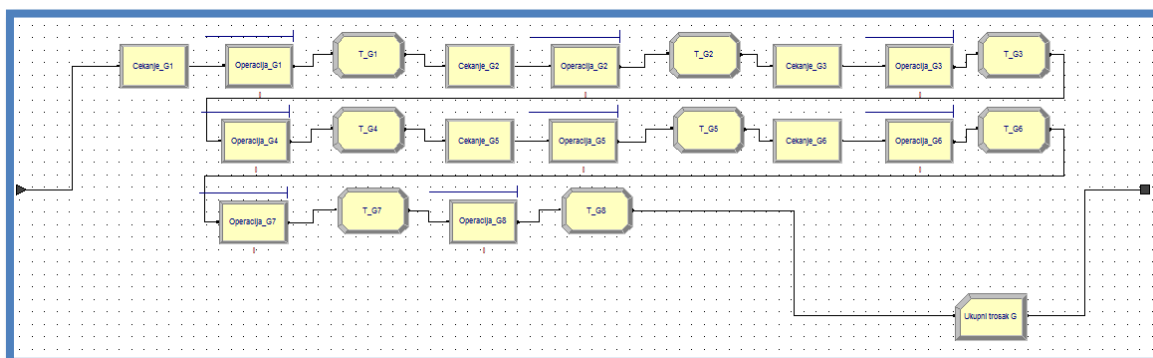
Slika 100. Podmodel za radni nalog D



Slika 101. Podmodel za radni nalog E



Slika 102. Podmodel za radni nalog F

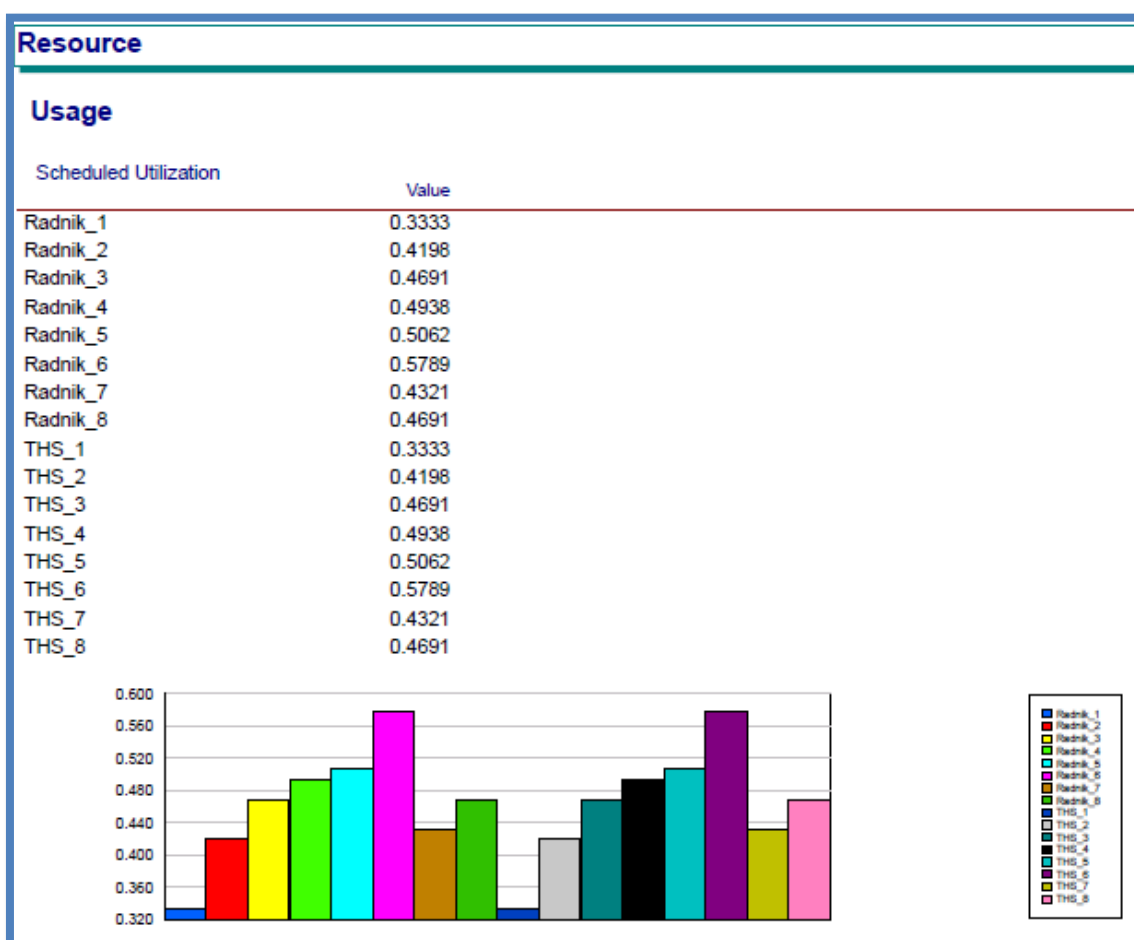


Slika 103. Podmodel za radni nalog G

Najznačajniji deo izveštaja dobijenog nakon izvođenja simulacije, a koji je u kontekstu predmeta istraživanja, je deo koji se odnosi na troškove. Naime, na osnovu softvera Cost-Time Profiler, dobijeni su akumulirani podaci o troškovima u svakom trenutku vremena a ono što se recimo u ovom slučaju kao rezultat simulacije dobija su troškovi po radnim nalogima kao što je prikazano na slici 103.

User Specified				
Tally				
Expression	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Ukupni trosak A	1260.85	(Insufficient)	1260.85	1260.85
Ukupni trosak B	868.49	(Insufficient)	868.49	868.49
Ukupni trosak C	1654.93	(Insufficient)	1654.93	1654.93
Ukupni trosak D	1084.15	(Insufficient)	1084.15	1084.15
Ukupni trosak E	947.53	(Insufficient)	947.53	947.53
Ukupni trosak F	1011.37	(Insufficient)	1011.37	1011.37
Ukupni trosak G	1116.77	(Insufficient)	1116.77	1116.77

Slika 104. Izveštaj o ukupnim troškovima po radnim nalozima



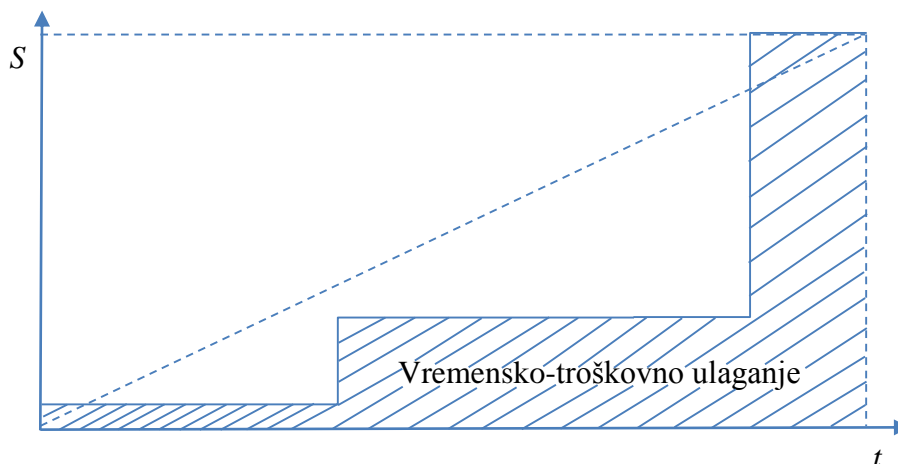
Slika 105. Izveštaj o ukupnim troškovima po radnim nalozima

Na osnovu rezultata simulacije, moguće je dobiti uvid u pojedinačna opterećenja radnika i tehnoloških sistema i na osnovu toga utvrditi da li postoje mogućnosti za optimizaciju u tom području.

## 6. ZAKLJUČCI I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja u okviru ove disertacije je bio da se osnaži proces donošenja odluka, prvenstveno na operativnom nivou, obezbeđujući relevantne informacije povezane sa tokovima vrednostima. Istraživanje je bilo usmereno ka iznalaženju dodatnih kriterijuma koji bi olakšali proces donošenja odluka inženjera u proizvodnji. Naglasak je stavljen na isticanju koristi od kombinovanja podataka o vremenu i troškovima i uspostavljanju veza koje postoje između vremena i troškova duž celog toka stvaranja vrednosti kako bi se podržao proces donošenja odluka. U toku oblikovanja i sprovođenja istraživanja, naglasak je stavljen na lean proizvodnju i da se što više elemenata te filozofije ugradi u istraživanje, s obzirom da je ova proizvodna filozofija pokazala sjajne rezultate u poslednjih 30 godina.

Uopšte ideja za ovim istraživanjem je nastala sa ciljem da se pronade način kako da se prikupe i prate podaci o akumulaciji troškova u vremenu, a kasnije i kako da se ti podaci iskoriste da bi se došlo do određenih unapređenja, a samim tim i smanjenja troškova. Pre nego što se detaljno krenulo u proces istraživanja, ono što se znalo je to koliko je značajna brzina kretanja novca kroz sistem i koliko je loše ako se taj novac duže zadržava u sistemu, jer prvenstveno gubi na svojoj vrednosti, a zatim i otežava dalje poslovanje. Ono što je bila prva ideja kako da se to postigne je bila zasnovana na tome da se proces proizvodnje, odnosno tok vrednosti u preduzeću organizuje na način da se najveći deo vrednosti proizvodu doda što kasnije, ako je moguće neposredno pre izlaska proizvoda na tržište, kako se novac ne bi dugo zadržavao. Međutim jasno je bilo da je to moguće realizovati samo u situacijama gde to dozvoljava tehnološki postupak. U tom slučaju bi na primer vremensko-troškovni profil izgledao kao što je prikazano na slici 106.

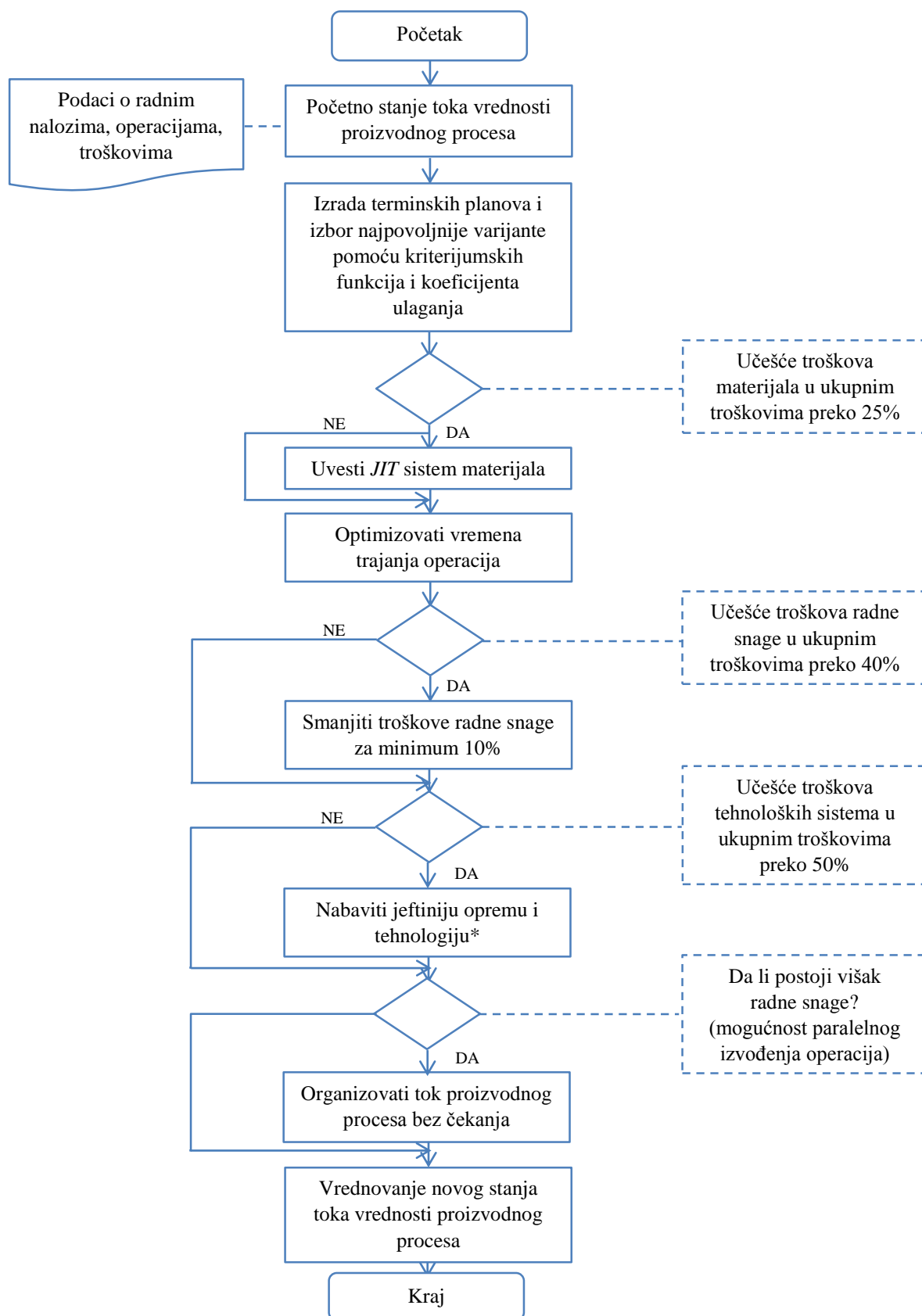


Slika 106. Primer vremensko-troškovnog profila za slučaj kasnog dodavanja vrednosti proizvodu

Ovo je samo bila inicijalna kapisla za početak istraživanja, koje je bilo usmereno na istraživanje mogućnosti za smanjenje površine ispod krive (šrafirana površina) koja predstavlja vremensko-troškovno ulaganje. Vremensko-troškovni profil je potpuno komplementaran sa mapiranjem toka vrednosti, koji je jedan od osnovnih lean alata za unapređenje procesa i eliminaciju gubitaka, te su stoga mere unapređenja tražene u ovoj oblasti. Takođe, prilikom kreiranja pilot istraživanja, došlo se do zaključka da i terminsko planiranje zauzima značajno mesto i ulogu u ovoj oblasti, te je stoga i ova oblast uključena u istraživanje.

Istraživanje je pokazalo da primena različitih pravila raspoređivanja radnih naloga prilikom kreiranja terminskih planova značajno utiče na vrednost vremensko-troškovnog ulaganja i može biti veoma važan alat, odnosno mera unapređenja i optimizacije proizvodnog sistema. Na osnovu prethodno prikazanih rezultata i diskusije, moguće je definisati preporuku kako za one koji razvijaju softvere za terminsko planiranje tako i za softvere koji podržavaju simulaciju diskretnih događaja, a ona se odnosi na to da bi opcija vremensko-troškovnog profila bila veoma važna i obavezna funkcionalnost svakog softvera iz ove kategorije. Kada je reč o softverima iz oblasti terminskog planiranja, vremensko-troškovno ulaganje bi trebalo da dobije ulogu funkcije kriterijuma (Buchmeister et al., 2014).

Ispitivanje uticaja mera unapređenja je onda nastavljeno u okviru podataka dobijenih primenom različitih pravila raspoređivanja radnih naloga i ono što je nastalo kao rezultat istraživanja i predstavlja originalni doprinos ove disertacije su dva koeficijenta: koeficijent ulaganja i koeficijent efikasnosti mera koji mogu da se koriste kako bi se odredio doprinos određene mere unapređenja, a i definisao prioritet sprovođenja mera. Kada se krene u proces optimizacije i unapređenja proizvodnog procesa, potrebno je razmotriti nekoliko ključnih aspekata. Pre svega, potrebno je mapirati trenutno stanje toka vrednosti proizvodnog procesa, uz beleženje podataka o redosledu radnih naloga, vremenima trajanja operacija unutar radnih naloga, troškovima materijala, radne snage, tehnoloških sistema i drugih direktnih troškova koji su vezani za tok vrednosti procesa. Nakon toga je potrebno razmotriti samu strukturu troškova i njihov međusobni odnos, odnosno procenat učešća pojedinačnih troškova u ukupnim troškovima. U skladu sa tim, donose se odluke koju meru unapređenja implementirati i u kom trenutku vremena. Na slici broj 107, se može videti predlog dijagrama toka procesa odlučivanja, koji može poslužiti kao preporuka za izbor adekvatnih mera unapređenja. Kada se govori sa aspekta kriterijua odlučivanja koji uključuje troškove, jako je važno da se utvrdi koji direktni trošak (materijal, radna snaga, tehnološki sistemi) zauzima najveći udeo u strukturi ukupnih direktnih troškova pa u skladu sa tim planirati i uvoditi mere unapređenja.



Slika 107. Dijagram toka odlučivanja za izbor mera unapređenja proizvodnog procesa

\* Ovu meru unapređenja je potrebno detaljno razmotriti, s obzirom da zahteva dodatna investiciona ulaganja, prihvatljiva je samo u slučajevima ozbiljne revitalizacije proizvodnih sistema, ukoliko postoji mogućnosti i vremena i predstavlja deo strateškog odlučivanja.

Prva faza optimizacije i unapređenja proizvodnog procesa podrazumeva izradu terminskih planova, odnosno utvrđivanje redosleda radnih naloga na osnovu prethodno postavljenih kriterijumskih funkcija i uz dodatni kriterijum koji se tiče troškova, a to je koeficijent ulaganja. Nakon toga u dijagramu se mogu pronaći mere unapređenja koje su ispitane u okviru istraživanja čiji se uticaj ispituje i proverava potreba za uvođenjem novih mera unapređenja. Kao izlazna informacija nakon svake mere unapređenja dobija se koeficijent efikasnosti mere unapređenja.

Kako bi ovaj postupak mogao da se sprovede brže, efikasnije i uz manje troškove (u smislu da se vide rezultati pre implementacije samih unapređenja) potrebno je razmišljati o simulaciji diskretnih događaja i u ovom slučaju njihova prvenstvena uloga je grafička ilustracija različitih scenarija primene različitih mera unapređenja u dinamičkom okruženju. Kada je preduzeće organizovano u tokove vrednosti, onda je sve te tokove moguće grafički predstaviti pomoću nekog simulacionog softvera i da to posle služi kao neka vrsta sistema za podršku odlučivanju gde će se samo menjati odgovarajući parametri kada se promene u realnom sistemu.

Primena rezultata ove disertacije je direktno moguća u svim preduzećima proizvodnog karaktera, predmetne prostorne strukture, naročito u slučajevima kada materijal ima veliki udeo u vrednosti proizvoda i gde je tehnološki postupak sačinjen od velikog broja operacija. To znači da rezultati mogu biti primenjeni u bilo kom proizvodnom preduzeću, bez obzira na veličinu, delatnost, odnosno vrstu proizvodnje sve dok sistem može biti modelovan kroz tok vrednosti. Ovaj koncept može biti lako primenjen i u slučajevima kada u proizvodnom procesu učestvuje više različitih dislociranih proizvodnih jedinica. Svakako, rezultati istraživanja doprinose značajno unapređenju sistema monitoringa operativnih i finansijskih performansi duž celog proizvodnog procesa, odnosno toka vrednosti. U okviru disertacije, nije se detaljno analizirao postupak proračuna troškova, nego su primenjena pravila preporučenih modela obračuna troškova za preduzeća koja koriste savremenije prilaze planiranja i upravljanja proizvodnjom i poslovanjem uopšte. Rezultati istraživanja se takođe mogu iskoristiti za unapređenje i dopunu materijala koji se koriste za obuke u oblasti *lean* proizvodnje i mapiranja toka vrednosti, a mogu ih koristiti i konsultantska preduzeća koja pružaju usluge revitalizacije i unapređenja proizvodnih procesa i struktura.

Savremena preduzeća moraju biti orijentisana ka kreiranju vrednosti za kupca i implementirati proizvodne strategije koje obezbeđuju organizaciju proizvodnje na način da se kreira više vrednosti za kupca. Takođe, jako je važno, sa strateškog aspekta, da menadžment preduzeća zna kako izbor tehnologije i procesa utiče na proizvodne troškove u kontekstu proizvoda, odnosno koliko je važno odrediti vrstu i vreme ulaganja kako bi se

optimizovali troškovi. Generalno govoreći, vremensko-troškovni profil, vremensko-troškovno ulaganje, kao i obračun troškova zasnovan na toku vrednosti nisu još uvek popularizovani i široko primenjeni u preduzećima, tako da se prvenstveno moraju uložiti napori na širenje svesti o značaju ove teme i raditi na promociji i popularizaciji pozitivnih doprinosa. Naime, vremensko-troškovni profil je tema koja se pojavila početkom 90-ih i posle toga, od 2005. godine, svega nekoliko radova je nastalo na ovu temu, a njen značaj i važnost za preduzeća je itekako očigledan. Dalja istraživanja u oblasti proizvodnje će biti usmerena pre svega na prevazilaženje ograničenja ovog istraživanja koja su prikazana u pretpostavkama modela. Tu se pre svega podrazumeva proširenje modela na situacije kada veličina serije nije poznata, kada rokovi isporuke nisu poznati, ponavljanje operacija i slično. Dalje, potrebno je proširiti i skup mogućih mera unapređenja i ispitati njihov uticaj na vremensko-troškovno ulaganje. Ono što nije obuhvaćeno ovim istraživanjem je istovremena kombinacija više mera unapređenja i praćenje zajedničkog uticaja na vrednost vremensko-troškovnog ulaganja i koeficijenta efikasnosti mera.

Pored toga, neophodno je staviti akcenat na unapređenje sistema prikupljanja podataka o troškovima, jer kao što je već rečeno, obavezan preduslov je da preduzeća budu organizovana po tokovima vrednosti i da se primenjuje računovodstvo zasnovano na tokovima vrednosti. Kako bi sve ovo bilo izvodljivo i rezultati merljivi, potrebno je posmatrati sve troškove kao direktne i izbegavati raspodelu indirektnih troškova. U oblasti mapiranja tokova vrednosti, dalje je moguće raditi na unapređenju i kreiranju simbola koji će u procesu mapiranja tokova vrednosti označavati troškove i raditi na unapređenju samog postupka mapiranja, u smislu dodavanja koraka koji se odnose na prikupljanje podataka o troškovima.

Kada je reč o proširenju istraživanja na druge oblasti, to će biti pre svega oblast uslužnih delatnosti i projektnog menadžmenta. Naime, iako proizvodnja i dalje pruža najveću mogućnost stvaranja nove vrednosti, kao i mogućnosti za zapošljavanje, činjenica je da uslužni sektor polako zauzima primat u odnosu na proizvodni. Stoga je potrebno većinu proizvodnih strategija prilagoditi primeni i u uslužnim delatnostima. Projektni menadžment je takođe idealno područje za nastavak istraživanja u ovoj oblasti, jer je kombinacija aktivnosti i racionalno korišćenje resursa u okviru projektnih planova veoma značajno. S tim da će ovde posebno interesantna biti primena koeficijenta ulaganja u slučaju planiranog vremena.

Kao što se može videti, ova disertacija je otvorila dosta novih i interesantnih tema za istraživanje i povezivanja različitih metoda, tehnika i alata za unapređenje i optimizaciju proizvodnih i poslovnih procesa.



## LITERATURA

---

- Abdulmalek, F. A. & Rajgopal, J. (2007) Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study, *International Journal of Production Economics*, Vol. 107, No. 1, 223-236
- Adams, M., Compton, P., Czarnecki, H. & Schroer, B. J. (1999) Simulation as a tool for continuous process improvement, *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 766-773
- Alves, T., Tommelein, I. & Ballard, G. (2005) Value Stream Mapping for Make-to-Order Products in a Job Shop Environment, *Proceedings of Construction Research Congress*, 1-10
- Anandalingam, G. & Kulatilaka, N. (1987) Decomposing of Production Efficiency into Technical, Allocative and Structural Components, *Journal of the Royal Statistical Society (Series A)*, Vol. 150, No. 2, 143-151
- Antić, Lj. & Georgijevski, M. (2010) Obračun troškova po aktivnostima zasnovan na vremenu, *Ekonomске teme*, Ekonomski fakultet u Nišu, Broj 4, 499-514
- April, J., Better, M., Glover, F. & Kelly, J. (2004) New advances and applications for marrying simulation and optimization, *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, 80-86.
- Arbulo-Lopez, P. R. & Fortuny-Santos, J. (2010) An accounting system to support process improvements: Transition to lean accounting, *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol. 3, No. 3, 576-602
- Atrill, P. & McLaney, E. (1997) *Accounting and Finance for Non-Specialists*, Prentice Hall Europe, London
- Baggaley, B. & Maskell, B. (2003a) Value stream management for lean companies – Part I, *Cost Management*, Vol. 17, No. 2, 23-27
- Baggaley, B. & Maskell, B. (2003b) Value stream management for lean companies – Part II, *Cost Management*, Vol. 17, No. 3, 24-30
- Benjamin, S. J., Muthaiyah, S. & Marathamuthu, M. S. (2009) An Improved Methodology For Absorption Costing: Efficiency Based Absorption Costing (EBAC), *The Journal of Applied Business Research*, Vol. 25, No. 6, 87-104
- Bernon, M., Mena, D., Templar, S. & Whicker, L. (2003) Costing waste in supply chain processes: a European food and drink industry case study, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International EurOMA Conference Operation Management and the New Economy*, 345-354
- Bicheno, J. & Holweg, M. (2009) *The Lean Toolbox – The Essential guide to lean transformation*, PICSIE Books, Buckingham
- Blackstone, J. H., Phillips, D. T. & Hogg, G. L. (1982) A state-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations, *International Journal of Production Research*, Vol. 20, No. 1, 27-45
- Brimson, J. A. (1991) *Activity Accounting – An Activity Based Costing Approach*, John Wiley & Sons, New York

- Bruggeman, W. & Slagmulder, R. (1995) The impact of Technological change on Management accounting, *Management Accounting Research*, Vol. 6, 241-252
- Buchmeister, B. (2013) *Advanced Job Shop Scheduling*, DAAAM International Publishing, Vienna
- Buchmeister, B., Kremljak, Z. & Gračanin, D. (2014) Introduction of a new performance measure for job shop scheduling, *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" – TMT 2014*, Budapest, in Press
- Buchmeister, B., Pandža, K. & Gusel, L. (2005) Vitka proizvodnja – Priložnost većjih dobičkov?, *Orodjarstvo*, 139-146
- Cerjaković, E. (2008) *Povišenje kapaciteta proizvodno-transportnih segmenata sistema primjenom simulacione studije*, Magistarski rad, Univerzitet u Tuzli
- Chaudhari, G. (2007) Cost-time profile as a tool in value engineering, *Journal of Value world*, Vol. 30, No. 1, 1-8
- Chen, J. C., Li, Y. & Shady, B. D. (2010) From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process: an industrial case study, *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 4, 1069-1086
- Chiarini, A. (2012) Lean production: Mistakes and limitations of accounting system inside the SME sector, *Journal of Manufacturing Technology and Management*, Vol. 3, No. 5, 681-700
- Christopher, M. (1998) *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Cost and Improving Service*, Financial Times/Prentice Hall, London
- Ćirić, J. (2013) *Uticaj izbora modela utvrđivanja transfernih cena na performanse poslovanja multidivizionog preduzeća*, Doktorska disertacija, Ekonomski fakultet u Kragujevcu
- Cooper, R. & Kaplan, R. S. (1988a) How cost accounting distorts product costs, *Management Accounting*, Vol. 69, No. 10, 20-27
- Cooper, R. & Kaplan, R. S. (1988b) Measure Cost Right: Make the Right Decision, *Harvard Business Review*, Vol. 66, No. 5, 96-103
- Cooper, R. & Kaplan, R. S. (1992) Activity-Based Systems: Measuring the Costs of Resources Usage, *Accounting Horizons*, Vol. 6, No. 3, 1-13
- Ćosić, I., Anišić, Z. & Lazarević, M. (2012) *Tehnološki sistemi u montaži*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- Cunningham, J. E. & Fiume, O. J. (2003) *Real numbers – Management Accounting in Lean organization*, Managing Times Press, Durham
- Deif, A. M. (2011) A System Model for Green Manufacturing, *Advances in Production Engineering & Management (APEM journal)*, Vol. 6, No. 1, 27-36
- Demeter, K. & Matyusz, Z. (2011) The impact of lean practices on inventory turnover, *International Journal of Production Economics*, Vol. 133, No. 1, 154-163
- Demir, Y. & Isleyen, S. K. (2013) Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems, *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No. 3, 377-988
- Edtmayr, T., Kuhlmann, P. & Sihn, W. (2011) Methodical Approach to Designing Workplaces and Increasing Productivity Based on Value Stream Mapping and Methods-Time Measurement, *Transactions of FAMENA*, Vol. 35, No. 1, 91-99

- Fooks, J. H. (1993) *Profiles for performance – Total Quality Methods for Reducing Cycle Time*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts
- Fowler, J. W. & Rose, O. (2004) Grand Challenges in Modeling and Simulation of Complex Manufacturing Systems, *Simulation*, Vol. 80, No. 9, 469-476
- Fullerton, R. R., Kennedy, F. A. & Winder, S. K. (2013) Management Accounting and control practices in a lean manufacturing environment, *Accounting, Organization and Society*, Vol. 38, No. 1, 50-71
- Gahagam, S. M. (2008) *Simulation and optimization of production control for lean manufacturing transition*, PhD thesis, University of Maryland
- Gantt, H. L. (1919) *Organizing for Work*, Harcourt, Brace, and Howe, New York
- Gen, M., Tsujimura, Y. & Kubota, E. (1994) Solving job-shop scheduling problems by genetic algorithm, *Proceedings of the IEEE International Conference on Humans, Information and Technology*, Vol. 2, 1577-1582
- Gračanin, D., Buchmeister, B. & Lalić, B. (2014) Using Cost-Time Profile for Value Stream Optimization, *Procedia Engineering*, Vol. 69, 1225-1231
- Gračanin, D., Lalić, B., Beker, I., Lalić, D. & Buchmeister, B. (2013) Cost-Time Profile Simulation for Job Shop Scheduling Decisions, *International Journal of Simulation Modelling*, Vol. 12, No. 4, 213-224
- Grasso, L. P. (2005) Are ABC and RCA Accounting Systems Compatible with Lean Management?, *Management Accounting Quarterly*, Vol. 7, No. 1, 12-27
- Green, G. I. & Appel, L. B. (1981) An empirical analysis of job shop dispatch rule selection, *Journal of Operations Management*, Vol. 1, 197-203
- Greene, W. H. (1999) Frontier production functions and the measurement of efficiency, in *Handbook of Applied Econometrics Volume II: Microeconomics*, Wiley-Blackwell, Oxford
- Haberstock, L. (2002) *Kostenrechnung I*, 11. Unveränderte Auflage, Erich Schmidt Verlag, Germany
- Hart, M. & Hart, J. (2013) *Manufacturing Efficiency Guide*, DBA Software, Inc.
- Haskin, D. (2010) Teaching Special Decisions in a Lean Accounting Environment, *American Journal of Business Education*, Vol. 3, No. 6, 91-96
- Herrmann, J. W. (2006) Decision-making systems in production scheduling, *Handbook of production scheduling*, Springer Science
- Hines, P. & Rich, N. (1997) The seven value stream mapping tools, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 17, No. 1, 46-64
- Hughes, S. (2003) Do different cost systems make a difference?, *Management Accounting Quarterly*, Vol. 5, No. 1, 22-30
- Huntzinger, J. R. (2007) *Lean Cost Management – Accounting For Lean by Establishing Flow*, J. Ross Publishing, Fort Lauderdale
- Jayamohan, M. S. & Rajendran, C. (2004) Development and analysis of cost-based dispatching rules for job shop scheduling, *European Journal of Operational Research*, Vol. 157, No. 2, 307-321
- Jelić, M. A., Aničić, J., Đurović, J. M., & Radojičić, S. (2014) ABC metoda obračuna troškova, *FBIM Transactions*, Vol. 2, No. 1, 91-98

- Jenson, R. L., Brackner, J. W. & Skousen, C. R., & IMA Foundation for Applied Research. (1996) *Management accounting in support of manufacturing excellence: Profiles of Shingo prize-winning organizations*. Montvale, N. J.: A research report carried out on behalf of The IMA Foundation for Applied Research.
- Kaplan, R. S. (1983) Manufacturing Performance: A New Challenge for Managerial Accounting, *The Accounting Review*, Vol. 58, No. 4, 686-705
- Kaplan, R. S. (1988) One Cost System Isn't Enough, *Harvard Business Review*, Vol. 66, No. 1, 61-66.
- Kendall, K., Mangin, C. & Ortiz, E. (1998) Discrete event simulation and cost analysis for manufacturing optimisation of an automotive LCM component, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 29, No. 7, 711-720
- Lanza, G., Jondral A. & Drotleff, U. (2012) Valuation of increased production system performance by integrated production systems, *Journal of Production Engineering*, Vol. 6, No. 1, 79-87
- Lanza, G., Jondral, A. & Book, J. (2011) Capability Assessment and Valuation of the Implementation of Lean Production Methods in Turbulent Environment, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2011)*, 524-53
- Lasa, I. S, Castro, R. & Laburu, O. C. (2009) Extent of the use of Lean concepts proposed for a value stream mapping application, *Journal of Production Planning & Control: The Management of Operations*, Vol. 20, No. 1, 82-98
- Lee, Q. & Snyder, B. (2006) *The Strategos Guide to Value Stream & Process Mapping*, Enna Products Corporation, Bellingham
- Lestan, Z., Brezocnik, M., Buchmeister, B., Brezovnik, S. & Balic, J. (2009) Solving the job-shop scheduling problem with a simple genetic algorithm, *International Journal of Simulation Modelling*, Vol. 8, No. 4, 197-205
- Li, X., Sawhney, R., Arendt, E. J. & Ramasamy, K. (2012) A comparative analysis of management accounting systems' impact on lean implementation, *International Journal of Technology Management*, Vol. 57, No. 1/2/3, 33-48
- Lian, Y. H. & Van Landeghem, H. (2007) Analysing the effects of Lean manufacturing using a value stream mapping-based simulation generator, *International Journal of Production Research*, Vol. 45, No. 13, 3037-3058
- Liker, J. K. (2004) *The Toyota Way – 14 Management Principles from the World's Greater Manufacturer*, McGraw-Hill, New York
- Locher, D. A. (2008) *Value stream mapping for lean development*, Productivity Press - Taylor & Francis Group, New York
- Lua, 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*, Vol. 49, No. 3, 647-669
- Luyster, T. & Tapping, D. (2006) *Creating your Lean future state: How to move from Seeing to Doing*, Productivity Press, New York
- Mahfouz, A., Crowe, J. & Arisha, A. (2011) Integrating Current State and Future State Value Stream Mapping with Discrete Event Simulation: A lean distribution Case Study, *Proceedings of the Third International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2011)*, 169-176

- Maksimović, R. & Lalić, B. (2008) Flexibility and complexity of effective enterprises, *Journal of Mechanical Engineering (Strojniški vestnik)*, Vol. 54, No. 11, 768-782
- Maksimović, R. (2003) *Složenost i fleksibilnost struktura industrijskih sistema*, Monografija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- Malta, J. & Cunha, P. F. (2011) A new approach for cost modelling and performance evaluation within operations planning, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 4, 234-242
- Maskell, B., Baggaley, B. & Grasso, L. (2012) *Practical Lean Accounting – A Proven System for Measuring and Managing the Lean Enterprise*, CRC Press, Boca Raton
- Maskell, B. & Kennedy, F. (2007) Why do we need lean accounting and how does it works, *The Journal of Corporate Accounting & Finance*, Vol. 8, No. 3, 59-73
- Maskell, B. (2004) What is Lean Accounting, *Superfactory Newsletter*
- Maskell, B. H. (1993) Why MRPII hasn't created world class manufacturing? Where do we go from here?, *Management Accounting*, Vol. 71, No. 10, 48-50
- McNally, P. & Heavey, C. (2004) Developing simulation as a desktop resource, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 17, No. 6, 435-450
- Miller, J., Wroblewski, M. & Villafuerte, J. (2013) *Creating a Kaizen Culture: Align the Organization, Achieve Breakthrough Results, and Sustain the Gains*, McGraw-Hill Professional, New York
- Monden, Y. (1983) *Toyota Production System: Practical Approach to Production Management*, Institute of Industrial Engineers, Industrial Engineering and Management Press, Norcross
- Ng, A., Bernedixen, J., Moris, M. U. & Jägstam, M. (2011) Factory flow design and analysis using internet-enabled simulation-based optimization and automatic model generation, *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, 2181-2193
- Ohno, T. (1988) *Toyota Production System – Beyond Large-Scale Production*, CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton
- Pan, G., Feng, D. & Jiang, M. (2010) Application research of shortening delivery time through value stream mapping analysis, *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM 2010)*, 733-736
- Peter, K. & Lanza, G. (2011) Company-specific quantitative evaluation of lean production methods, *Production Engineering*, Vol. 5, No. 1, 81-87
- Pettersen, J. (2009) Defining lean production: some conceptual and practical issues, *The TQM Journal*, Vol. 21, No. 2, 127-142
- Pinedo, M. (1995) *Scheduling: theory, algorithms, and systems*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs
- Pinedo, M. L. (2005) *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*, Springer Science+Business Media, Inc.
- Polajnar, A., Kalpic, B., Leber, M., Kremljak, Z., Buchmeister, B., Pizmoht, P., Vujica-Herzog, N. & Palcic, I. (2009) *Advanced Problems in Production Management*, DAAAM International, Vienna
- Porter, M. E. (1985) *Competitive Advantage*, The Free Press, New York

- Rakičević, Z. & Kojić, J. (2013) LEKIN - računarski program za rešavanje problema raspoređivanja u planiranju proizvodnje i usluga, *INFO M*, Vol. 12, No. 46, 27-33
- Rao, M. H. S. & Bargerstock, A. (2011) Exploring the Role of Standard Costing in Lean Manufacturing Enterprises: A Structuration Theory Approach, *Management Accounting Quarterly*, Vol. 13, No. 1, 47-60
- Rayburn, L. G. (1989) *Principles of Cost Accounting, Using a Cost Management Approach*, Irwin, Homewood
- Rivera L. & Chen, F. F. (2006) Cost-Time Profiling: Putting Monetary Measures onto Value Stream Maps, *Annual Industrial Engineering Research Conference*
- Rivera, L. & Chen, F. F. (2007) Measuring the impact of lean tools on the Cost-Time Investment of a product using Cost-Time Profile, *Journal of Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 23, 684-689
- Rivera, L. & Manotas, D. F. (2013) How to foresee and measure real impact of a Lean Manufacturing implementation, *Proceedings of the International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, 1425-1436
- Rivera, L. (2006) *Inter-Enterprise Cost-Time Profiling*, PhD Dissertation, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University
- Rodić, J. & Rakovački-Tubič, C. (2007) *Računovodstvo troškova*, Finrar, Banja Luka
- Rother, M. & Shook, J. (2009) *Learning to see: Value stream mapping to create value and eliminate muda*, Lean enterprise institute, Cambridge
- Salah, W. & Zaki, H. (2013) Product costing in Lean Manufacturing Organizations, *Research Journal of Finance and Accounting*, Vol. 4, No. 6, 86-98
- Schmalenbach, E. & Bauer, R. (1963) *Kostenrechnung und Preispolitik*, Westdeutscher Verlag, Germany
- Schnoebelen, S. C. (1993) Cost management practice: integrating an advanced cost management system into operating systems, *Journal of Cost Management*, Vol. 7, No. 1, 50-54
- Shah, R. & Ward, P. T. (2003) Lean manufacturing: context, practice bundles and performance, *Journal of Operation Management*, Vol. 21, No. 2, 129-149
- Sobczyk, T. & Koch, A. (2005) Cost Management Framework for a Value Stream, *Proceeding of the International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*, 371-378
- Sobczyk, T. & Koch, A. (2008) Method for Measuring Operational and Financial Performance of a Production Value Stream, *IFIP International Federation for Information Processing*, Vol. 257, 151-163
- Stalk, G. & Hout, T. (2003) *Competing Against Time: How Time-Based Competition is Reshaping Global Markets*, Free Press, New York
- Stevanović, N. (1997) *Zakon o računovodstvu i menadžment*, Knjigovodstvo, Beograd
- Stevanović, N., Malinić, D. & Miličević, V. (2006) *Upravljačko računovodstvo*, Ekonomski fakultet, Beograd
- Stone, K. B. (2012) Four decades of lean: a systematic literature review, *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 3, No. 2, 112-132

- Taping, D., Luyster, T. & Shuker, T. (2002) *Value Stream Management*, Productivity Press, New York
- Velmurugan, M. S. (2010) The Success and Failure of Activity-Based Costing Systems, *Journal of Performance Management*, Vol. 23, No. 2, 3-33
- Waddell, B. (2010) The advancement of lean accounting, Lean Accounting Summit, <http://www.bill-waddell.com/> (pristup stranici: 15.04.2014.)
- Wang, L. & Qingmin, Y. (2009) Lean Accounting Based on Lean Production, *Proceedings of the International Conference on Management and Service Science – MASS 2009*, 1-4
- Ward, Y. & Graves, A. (2004) *A new costs management and accounting approach for lean enterprises*, University of Bath, School of Management, Working paper Series No. 2004.05
- Wasim, A., Shehab, E., Abdalla, H., Al-Ashaab, A., Sulowski, R., & Alam, R. (2013) An innovative cost modelling system to support lean product and process development, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 65, No. 1-4, 165-181
- Whicker, L. & O'Brien, C. (2007) A longitudinal case-based assessment of supply chain and management, *Proceedings of the 19<sup>th</sup> International Conference on Production Research – ICPR 19*, Valparaiso, Chile, 6 pages
- Whicker, L., Bernon, M., Templar, S. & Mena, C. (2009) Understanding the relationships between time and cost to improve supply chain performance, *International Journal of Production Economics*, Vol. 121, No. 2, 641-650
- Wilson, L. (2010) *How to implement lean manufacturing*, The McGraw-Hill, New York
- Womack, J. P. & Jones, D. T. (2010) *Lean Thinking*, Free Press - Simon and Schuster, New York
- Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D. (2007) *The Machine That Changed the World*, Free Press, New York
- Yucesan, E. & Fowler, J. (2000) Simulation Analysis of manufacturing and logistics systems, *In Encyclopedia of production and manufacturing management*, edited by Swamidass, P., 687-697, Boston
- Zelenović, D. (2012) *Projektovanje proizvodnih sistema*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- Zhanga, R., Chang, P. C. & Wu, C. (2013) A hybrid genetic algorithm for the job shop scheduling problem with practical considerations for manufacturing costs: Investigations motivated by vehicle production, *International Journal of Production Economics*, Vol. 145, No. 1, 38-52