

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA

Ivan B. Tomašević

**MODEL IMPLEMENTACIJE LIN PRISTUPA
ZA UNAPREĐENJE OPERATIVNIH
PERFORMANSI NEREPETITIVNIH
PROIZVODNIH SISTEMA**

doktorska disertacija

Beograd, 2016.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Ivan B. Tomašević

**LEAN IMPLEMENTATION MODEL FOR
IMPROVING OPERATIONAL
PERFORMANCE OF NON-REPETITIVE
MANUFACTURING SYSTEMS**

doctoral dissertation

Belgrade, 2016.

Mentor:

Prof. dr Dragoslav Slović, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu - Fakultet organizacionih nauka

Članovi komisije:

Prof. dr Ondrej Jaško, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Fakultet organizacionih nauka

Prof. dr Dragan D. Milanović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu - Mašinski fakultet

Datum odbrane: . . .2016.

Naslov doktorske disertacija: Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

Rezime: Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je mogućnost unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema – konkretno protočnog vremena i pouzdanosti isporuke – primenom lin pristupa. Primeri unapređenja operativnih performansi primenom lin pristupa su brojni, i najveći broj dolazi iz repetitivnih proizvodnih sistema u kojima je lin pristup i razvijen. Savremena istraživanja govore da postoji interesovanje za korišćenje lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Međutim, broj primera unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema je značajno manji od broja primera unapređenja operativnih performansi repetitivnih proizvodnih sistema. Za to postoji nekoliko razloga, a jedan od najznačajnijih je da znanje o primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima nije sistematizovano i strukturirano kao znanje o primeni u repetitivnim proizvodnim sistemima, i ne postoji jedinstveni okvir implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, koji uzima u obzir sve karakteristike specifičnog okruženja, kao ni sve karakteristike lin pristupa.

Osnovni cilj istraživanja koje je sprovedeno u ovoj doktorskoj disertaciji je unapređivanje znanja u oblasti lin proizvodnje i provera efekata primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima kroz projektovanje novog originalnog modela primene lin pristupa u nerepetitivnom proizvodnom okruženju na osnovu analize dosadašnjih iskustava, i njegovu eksperimentalnu proveru u kompaniji koja pripada grupi nerepetitivnih proizvođača.

Analizom i sistematizacijom postojećih istraživanja u oblasti primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je pokazano da u naučnoj i stručnoj literaturi postoji interesovanje za primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, ali i problemi u primeni koji su uzrokovani karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema, koje ne dozvoljavaju da se praksa primene lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima doslovno kopira u nerepetitivne proizvodne sisteme.

U cilju analize mogućnosti primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, u doktorskoj disertaciji je izvršeno istraživanje literature o razvoju lin pristupa, karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema, implikacijama koje karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu imati na primenu lin pristupa, kao i mogućnostima rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa. Lin pristup je razvijen u Tojoti, u proizvodnom sistemu koji je identifikovan kao repetitivni proizvodni sistem. Postoje značajne razlike između karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema, koje su posledica razlika u potrebama koje zadovoljavaju repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi, a posledično i u ciljevima kojima teže i zadacima koje izvršavaju na putu ka ispunjenju tih ciljeva. Razlike u karakteristikama mogu imati značajne implikacije na primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Primena lin pristupa je najčešće usklađena sa karakteristikama repetitivnih proizvodnih sistema, i praksa repetitivnih proizvodnih sistema u primeni lin pristupa se ne može kopirati u nerepetitivne proizvodne sisteme, pa je neophodno razviti pristup koji je prilagođen karakteristikama specifičnog proizvodnog okruženja.

Na osnovu analize mogućnosti primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, razvijen je originalni model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Razvoj modela je tekao u dva pravca. Prvi pravac predstavlja razvoj konceptualnog okvira implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, čiji je cilj da da novi prikaz i tumačenje principa lin pristupa u svetlu karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema, i da analizira mogućnosti korišćenja prilagođenih principa lin pristupa u svrhu aktivnog oblikovanja proizvodnog okruženja. Drugi pravac proizilazi iz prvog, i predstavlja formalizaciju originalnog modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Sam model implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima operacionalizuje principe lin pristupa u specifičnom okruženju, i sugeriše niz koraka primene prilagođenih principa lin pristupa u cilju unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema.

Kako bi se proverila mogućnost unapređenja protočnog vremena i pouzdanosti isporuke u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa, model implementacije

koji je razvijen je primenjen u kompaniji koja pripada grupi nerepetitivnih proizvođača. Mogućnost primene modela i postizanja rezultata je prvo proverena kroz simulaciju, gde su rezultati pokazali da primena modela može unaprediti protočno vreme i pouzdanost isporuke. Nakon toga je usledilo empirijsko istraživanje, gde se pristupilo primeni modela. Rezultati empirijskog istraživanja pokazuju da se operativne performanse nerepetitivnih proizvodnih sistema, konkretno protočno vreme i pouzdanost isporuke, mogu unaprediti primenom lin pristupa.

Doprinos doktorske disertacije se ogleda u nekoliko ključnih rezultata: (1) razvijen je originalni model implementacije lin pristupa koji je prilagođen karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema; (2) kroz simulaciju i empirijsko istraživanje su proverene mogućnosti primene modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima za unapređenje operativnih performansi; (3) izvršena je ocena predloženog modela na osnovu evaluacije rezultata provere; (4) dat je pregled postojećeg stanja u izučavanju lin pristupa, sa posebnim osvrtom na primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima; (5) dat je kritički osvrt na dosadašnje rezultate istraživanja u ovoj oblasti; (6) date su preporuke za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

Ključne reči: lin pristup, lin proizvodnja, nerepetitivni proizvodni sistemi, unapređenje efikasnosti, operativne performanse, protočno vreme, pouzdanost isporuke

Naučna oblast: Tehničke nauke

Uža naučna oblast: Industrijsko i menadžment inženjerstvo

UDK: 658.5

Title of the doctoral dissertation: Lean implementation model for improving operational performance of non-repetitive manufacturing systems

Summary: The subject of the research conducted in this doctoral dissertation are the possibilities of improving operational performance of non-repetitive manufacturing systems – namely lead time and delivery reliability – through lean implementation. Examples of operational performance improvement through lean implementation are numerous, and most of them come from repetitive manufacturing systems, where lean was devised. Contemporary research shows evidence of an existing interest in implementing lean in non-repetitive manufacturing systems. However, the number of operational performance improvement cases in non-repetitive manufacturing systems is significantly lower than the number of cases coming from repetitive manufacturing systems. Out of several reasons causing this, one of the most significant ones is that the knowledge of lean implementation in non-repetitive manufacturing systems is not as structured and systematized as in repetitive manufacturing systems. In addition, there is no unique framework for implementing lean in non-repetitive manufacturing systems that would take all the characteristics of a specific manufacturing environment and all the characteristics of lean into account.

The main goal of the research is to improve the knowledge in the field of lean manufacturing and to test the effects of lean implementation in non-repetitive manufacturing systems through the design of a new and original model of lean implementation in non-repetitive manufacturing systems. This will be based on the analysis of the previous experience, and through experimental validation of the designed model in a company that represents a typical non-repetitive manufacturer.

The analysis and systematization of the previous research in the field of lean implementation in non-repetitive manufacturing systems shows that an interest in implementing lean in non-repetitive manufacturing systems does exist, but so do problems caused by the characteristics of non-repetitive manufacturing systems that do

not allow for lean implementation practice in repetitive manufacturing systems to be simply copied in non-repetitive manufacturing systems.

In order to test the possibilities for lean implementation in non-repetitive manufacturing systems, this doctoral dissertation reviews scientific literature for information on lean development, characteristics of non-repetitive manufacturing systems, possible implications of those characteristics on lean implementation, as well as the possibilities for solving problems in non-repetitive manufacturing systems through lean implementation. Lean was developed in Toyota, in a manufacturing system (that was) identified as repetitive. There are significant differences in characteristics of repetitive and non-repetitive manufacturing systems, mostly caused by diverse needs fulfilled by the two types of manufacturing systems, and consequently by different goals and activities undertaken to achieve those goals. The differences in characteristics can have significant implications on the ways lean is implemented in non-repetitive manufacturing systems. Lean implementation is most commonly harmonized with the characteristics of repetitive manufacturing systems, so it is necessary to design a tailor-made approach to suit the characteristics of a specific manufacturing environment.

Based on the analysis of possibilities of lean implementation in non-repetitive manufacturing systems, an original lean implementation model for improving operational performance of non-repetitive manufacturing systems was designed. The model design followed two directions. The first direction was to develop a conceptual framework for implementing lean in non-repetitive manufacturing systems, where the main goal was to give new overview and interpretation of lean principles in the light of non-repetitive manufacturing systems characteristics, and to analyze the possibilities of using customized lean principles for actively shaping the non-repetitive manufacturing environment. The second direction stems from the first one, and represents the formalization of a model for lean implementation in non-repetitive manufacturing systems. The model itself operationalizes customized lean principles, and suggests a way of applying lean principles in non-repetitive manufacturing systems through a series of steps aimed at improving operational performance.

In order to test the possibilities of improving lead time and delivery reliability in non-repetitive manufacturing systems through lean implementation, the model was

implemented in a company that represents typical non-repetitive manufacturing system. The possibilities were first tested through simulation, where the results show that model implementation can improve lead time and delivery reliability. This was followed by an empirical validation through actual implementation of the model in the company. The empirical validation results show that the operational performance of non-repetitive manufacturing systems, namely lead time and delivery reliability, can be improved through lean implementation.

The contribution of this doctoral dissertation is reflected in its several key results: (1) a new model of lean implementation, tailor-made to characteristics of non-repetitive manufacturing systems, was designed; (2) the possibilities of lean implementation model for improving operational performance of non-repetitive manufacturing systems were evaluated through simulation and empirical research; (3) the proposed model was assessed based on the evaluation of simulation and empirical research results; (4) the current state of lean related research was reviewed, with a special attention to lean implementation in non-repetitive manufacturing systems; (5) previous research in the field of lean implementation in non-repetitive manufacturing was critically assessed; (6) recommendations for future research were given.

Key words: lean approach, lean manufacturing, non-repetitive manufacturing systems, efficiency improvement, operational performance, lead time, delivery reliability

Scientific area: Technical sciences

Specific scientific area: Industrial and management engineering

UDK: 658.5

Sadržaj

Lista slika.....	VI
Lista tabela.....	X
1. Uvod.....	1
2. Nacrt naučne zamisli razvoja modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema	7
2.1 Problem istraživanja	7
2.1.1 Proizvodnja i proizvodni sistemi	7
2.1.2 Repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi	9
2.1.3 Značaj problema efikasnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema	11
2.2 Predmet istraživanja.....	11
2.3 Cilj istraživanja	12
2.3.1 Društveni cilj istraživanja.....	12
2.3.2 Naučni cilj istraživanja	13
2.4 Hipoteze u istraživanju	13
2.5 Način istraživanja.....	14
2.6 Naučna i društvena opravdanost istraživanja.....	16
2.7 Očekivani naučni doprinos	16
3. Primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima – pregled literature...17	
3.1 Metodologija korišćena u analizi literature o primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	17
3.1.1 Prikupljanje radova.....	17
3.1.2 Selekcija radova.....	18
3.1.3 Analiza radova.....	19
3.2 Kvantitativna analiza rezultata pretrage.....	19

3.3	Lin pristup u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	29
3.4	Identifikovani problemi i ponuđena rešenja kod primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	36
3.4.1	Identifikovani problemi u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	37
3.4.2	Ponuđena rešenja za identifikovane probleme u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	44
3.5	Kritički osvrt na dosadašnje rezultate istraživanja	57
4.	Analiza mogućnosti primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	61
4.1	Pregled razvoja lin pristupa	64
4.1.1	Razvoj masovne proizvodnje	65
4.1.2	Počeci Tojotinog proizvodnog sistema	68
4.1.3	Elementi tojotinog proizvodnog sistema	72
4.1.4	Širenje Tojotinog proizvodnog sistema.....	77
4.1.5	Razvoj lin pristupa.....	82
4.1.6	Poređenje masovne proizvodnje i lin pristupa.....	85
4.1.7	Rezime i zaključci poglavlja.....	88
4.2	Pregled karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema	89
4.2.1	Karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema – pregled literature	89
4.2.2	Karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema	96
4.2.3	Uporedni pregled karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema	102
4.2.4	Rezime i zaključci poglavlja.....	112
4.3	Implikacije karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema na primenu lin pristupa.....	113
4.3.1	Implementacija lin pristupa	113

4.3.1.1	Fundamentalna pravila implementacije lin pristupa	114
4.3.1.2	Aspekti, metode, tehnike i alati lin pristupa.....	120
4.3.2	Problemi u implementaciji lin pristupa	125
4.3.3	Analiza primenljivosti lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	127
4.3.3.1	Analiza primenljivosti osnovnih pravila implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	128
4.3.3.2	Analiza primenljivosti metoda, tehnika i alata u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	130
4.3.4	Rezime i zaključci poglavlja.....	138
4.4	Mogućnosti rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa	139
4.4.1	Ciljevi i problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	139
4.4.2	Studije slučaja primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	144
4.4.2.1	Primena lin pristupa u mašinskoj radionici za proizvodnju prototipova i proizvoda u malim obimima.....	144
4.4.2.2	Primena lin pristupa u proizvodnji ventila i regulatora.....	148
4.4.2.3	Primena lin pristupa u proizvodnji dekorativnih keramičkih pločica	150
4.4.2.4	Uporedna analiza studija slučaja	153
4.4.3	Rezime i zaključci poglavlja.....	155
5.	Razvoj modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	159
5.1	Konceptualni okvir implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	161
5.1.1	Operacioni kontekst nerepetitivnih proizvodnih sistema	163
5.1.2	Lin principi u kontekstu nerepetitivnih proizvodnih sistema	165

5.1.3	Aktivno oblikovanje proizvodnog okruženja	179
5.2	Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema	182
5.3	Rezime i zaključci poglavlja	201
6.	Mogućnosti unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema primenom modela implementacije lin pristupa	203
6.1	Protočno vreme i pouzdanost isporuke kao operativne performanse proizvodnih sistema	204
6.1.1	Pojam i značaj operativnih performansi	204
6.1.2	Protočno vreme i pouzdanost isporuke kao operativne performanse	208
6.1.2.1	Protočno vreme	210
6.1.2.2	Pouzdanost isporuke	217
6.1.3	Veza između protočnog vremena, pouzdanosti isporuke i drugih operativnih performansi	220
6.1.3.1	Dijagram protoka i Little-ov zakon	220
6.1.3.2	Kriva protoka	223
6.1.4	Značaj kratkih protočnih vremena i pouzdane isporuke	225
6.1.5	Rezime i zaključci poglavlja	228
6.2	Unapređenje protočnog vremena i pouzdanosti isporuke u kompaniji ALPHA primenom formalizovanog modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	229
6.2.1	Opis kompanije ALPHA	229
6.2.2	Stanje u kompaniji ALPHA na početku 2015. godine	230
6.2.3	Analiza mogućnosti unapređenja protočnog vremena i pouzdanosti isporuke u kompaniji ALPHA primenom modela implementacije lin pristupa sistemima kroz simulaciju	234
6.2.3.1	Verbalni opis simulacije i dizajn eksperimenta	236

6.2.3.2	Analiza mogućnosti skraćanja protočnog vremena.....	242
6.2.3.3	Analiza mogućnosti unapređenja pouzdanosti isporuke	246
6.2.4	Primena modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi u kompaniji ALPHA	255
6.2.5	Analiza rezultata primene modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi u kompaniji ALPHA	280
6.2.5.1	Analiza unapređenja protočnog vremena primenom modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA	280
6.2.5.2	Analiza unapređenja pouzdanosti isporuke primenom modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA	285
6.2.6	Rezime i zaključci poglavlja.....	293
7.	Zaključak.....	296
7.1	Rezultati istraživanja i ostvareni naučni doprinosi	296
7.2	Ograničenja istraživanja.....	305
7.3	Budući pravci istraživanja	306
	Reference.....	308
	Prilog 1: Simulacioni model.....	327
	Prilog 1a: Kod simulacionog modela.....	327
	Prilog 1b: Kod za prikupljanje i evaluaciju rezultata simulacije	333
	Biografija.....	337

Lista slika

Slika 1. Model proizvodnog sistema	9
Slika 2. Faze korišćene u analizi literature	17
Slika 3. Pregled broja publikovanih radova na temu primenene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, po godinama	25
Slika 4. Tojotin proizvodni sistem.....	76
Slika 5. Proizvodni proces sa fokusom na ponavljanje	94
Slika 6. Funkcionalno orijentisani proizvodni proces (veliki miks proizvoda, mali obimi proizvodnje).....	100
Slika 7. Revidirana dvodimenzionalna matrica proizvod-proces	103
Slika 8. Klasifikacija tipova proizvodnje	109
Slika 9. Tojotin pristup rešavanju problema.....	115
Slika 10. Logika implementacije lin pristupa, odnosno otkrivanja i smanjenja varijacija	118
Slika 11. Četvorospratna piramida implementacije lin pristupa.....	119
Slika 12. Pozicija i značaj lin alata u odnosu na tip proizvodnog sistema	137
Slika 13. Glavni poslovni ciljevi nerepetitivnih i repetitivnih proizvodnih sistema	140
Slika 14. Sekvencijalni sistem vučenja proizvodnje	150
Slika 15. Konceptualni okvir lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima...	162
Slika 16. Interni i eksterni aspekt modela isporučilac-korisnik.....	167
Slika 17. Voda i stene kao analogija nivoa zaliha i problema	169
Slika 18. Grupe varijacija u proizvodnom sistemu.....	171
Slika 19. Baferi u proizvodnim sistemima	173
Slika 20. Sistem vučenja pomoću Kanban kartica	175
Slika 21. Sistem guranja proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	176
Slika 22. Sistem vučenja proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	177

Slika 23. Naučni metod rešavanja problema	180
Slika 24. PDCA ciklus.....	181
Slika 25. Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema.....	183
Slika 26. Mogući pravci delovanja na varijacije u efektivnom vremenu obrade	191
Slika 27. Mogući pravci delovanja na varijacije u dolasku novih poslova	192
Slika 28. Mogući pravci delovanja na smanjenje stepena korišćenja kapaciteta	194
Slika 29. Mogući pravci delovanja na smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje	195
Slika 30. Uzajamni uticaj stabilizacije procesa, upravljanja baferima i uspostavljanja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje.....	196
Slika 31. Primer kontrole opterećenja prilikom puštanja novih poslova u proizvodnju.	199
Slika 32. Tradicionalni ciljevi proizvodnje	208
Slika 33. Savremeni ciljevi proizvodnje.....	209
Slika 34. Struktura protočnog vremena	211
Slika 35. Protočno vreme jedne za jednu operaciju.....	212
Slika 36. Protočno vreme proizvoda/posla	213
Slika 37. Dijagram protoka za hipotetički proizvodni proces	221
Slika 38. Kriva protoka za hipotetički primer	224
Slika 39. Prikaz relativne značajnosti kriterijuma kupovine proizvoda	226
Slika 40. Tipični proizvodi kompanije ALPHA.....	231
Slika 41. Raspored opreme i tokovi materijala kroz proizvodnju	232
Slika 42. Raspodela vremena obrade u kompaniji ALPHA	237
Slika 43. Proizvodno i ukupno protočno vreme pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnju	242
Slika 44. Proizvodno i ukupno protočno vreme pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnju, uz redukciju efektivnog vremena obrade.....	245

Slika 45. Proizvodno protočno vreme i procenat kašnjenja u isporuci pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnju.....	247
Slika 46. Proizvodno protočno vreme i procenat kašnjenja u isporuci pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnju, uz redukciju efektivnog vremena obrade .	248
Slika 47. Proizvodno protočno vreme i srednje vreme kašnjenja isporuke pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnju.....	250
Slika 48. Proizvodno protočno vreme i srednje vreme kašnjenja u isporuci pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnju, uz redukciju efektivnog vremena obrade	251
Slika 49. Distribucija kašnjenja isporuke kod trenutnog puštanja poslova u proizvodnju pri različitim nivoima varijacija u efektivnom vremenu obrade	252
Slika 50. Distribucija kašnjenja isporuke kod trenutnog puštanja poslova u proizvodnju pri različitim nivoima varijacija u efektivnom vremenu obrade, uz redukciju efektivnog vremena obrade.....	253
Slika 51. Distribucija kašnjenja isporuke kod kontrolisanog puštanja poslova, pri visokim varijacijama u vremenima obrade, bez redukcije vremena obrade.....	254
Slika 52. Distribucija kašnjenja isporuke kod kontrolisanog puštanja poslova, pri niskim varijacijama u vremenima obrade, uz redukciju vremena obrade	255
Slika 53. Tok stvaranja vrednosti na najvišem nivou dekompozicije	261
Slika 54. Tok stvaranja vrednosti na liniji za obradu pločastih materijala.....	262
Slika 55. Prosečno protočno vreme pre primene modela	263
Slika 56. Distribucija protočnih vremena pre primene modela	264
Slika 57. Broj radnih naloga koji su završeni ranije, tačno na vreme i kasnije, pre primene modela	265
Slika 58. Prosečno vreme kašnjenja pre primene modela	266
Slika 59. Prikaz fleksibilnog rasporeda stolova u montaži.....	268
Slika 60. Primer uputstva izloženog u zoni izvođenja operacije.....	269
Slika 61. Tabela održavanja mašina i izvod iz tabele održavanja pored mašine.....	269

Slika 62. Detaljno uputstvo za održavanje mašina	270
Slika 63. Međufazno skladište u postojećem stanju i novi način vizuelnog obeležavanja međufaznih skladišta	272
Slika 64. Ocenjivanje i praćenje sprovođenja 5S programa povećanja uredenosti radnih mesta.....	273
Slika 65. Sistem kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje u kompaniji ALPHA....	277
Slika 66. Prosečno protočno vreme pre i nakon primene modela	281
Slika 67. Distribucija protočnih vremena nakon primene modela	281
Slika 68. Broj radnih naloga koji su završeni ranije, tačno na vreme i kasnije, za celu 2015. godinu	286
Slika 69. Distribucija kašnjenja za postojeće stanje	287
Slika 70. Distribucija kašnjenja za novo stanje	287
Slika 71. Prosečno vreme kašnjenja u isporuci proizvoda za celu 2015. godinu	290

Lista tabela

Tabela 1. Prikaz i klasifikacija analizirane literature	20
Tabela 2. Distribucija radova po časopisima.....	26
Tabela 3. Citiranost radova prema Google Scholar [®] bazi	27
Tabela 4. Najčešće korišćene metode u istraživanju primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	28
Tabela 5. Pregled definicija lin pristupa (ili povezanih koncepata) korišćenih u analiziranim radovima	31
Tabela 6. Rezultati primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	35
Tabela 7. Klasifikacija radova sa stanovišta identifikovanja, odnosno rešavanja problema primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	36
Tabela 8. Problemi identifikovani u dosadašnjim istraživanjima, istraživačka pitanja i predlog mogućih rešenja.....	60
Tabela 9. Odnos zanatske i masovne proizvodnje u montaži - odnos 1913. i 1914.....	67
Tabela 10. Poređenje masovne i lin proizvodnje na primeru General Motors-a i Tojote.	86
Tabela 11. Poređenje masovne i lin proizvodnje po karakteristikama podсистема proizvodnih sistema.....	87
Tabela 12. Upporedni pregled karakteritika tražnje, ciljeva i ključnih zadataka prilikom projektovanja proizvodnih sistema.....	105
Tabela 13. Upporedni pregled karakteristika elemenata repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema.....	106
Tabela 14. Elementi lin pristupa.....	122
Tabela 15. Analiza primenljivosti osnovnih pravila implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	128
Tabela 16. Analiza primenljivosti alata lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	131
Tabela 17. Problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.....	142

Tabela 18. Poboljšanja koja se mogu pripisati implementaciji lin pristupa u repetitivnim i nerepetitivnim proizvodnim sistemima	143
Tabela 19. Ostvareni rezultati u kompaniji A nakon primene lin pristupa.....	147
Tabela 20. Efekti primene lin pristupa u kompaniji C	153
Tabela 21. Uporedni prikaz načina implementacije lin pristupa u opisanim studijama slučaja	154
Tabela 22. Karakteristike elemenata nerepetitivnih proizvodnih sistema nakon implementacije lin pristupa	157
Tabela 23. Faze i rezultati koraka Definisanje atributa nerepetitivnog proizvodnog sistema	184
Tabela 24. Faze i rezultati koraka Identifikacija vrednosti za korisnika	184
Tabela 25. Faze i rezultati koraka Obuka zaposlenih.....	186
Tabela 26. Faze i rezultati koraka Definisanje željenog nivoa performansi proizvodnog sistema	187
Tabela 27. Faze i rezultati koraka Snimak i analiza postojećeg stanja.....	188
Tabela 28. Faze i rezultati koraka Stabilizacija procesa.....	190
Tabela 29. Faze i rezultati koraka Upravljanje baferima.....	193
Tabela 30. Faze i rezultati koraka Kontrolisano guranje/vučenje proizvodnje	197
Tabela 31. Faze i rezultati koraka Standardizacija rešenja.....	200
Tabela 32. Oznake i elementi korišćeni u prikazivanju protočnog vremena jedne operacije.....	213
Tabela 33. Karakteristike simulacionog modela	238
Tabela 34. Pregled eksperimentalnih faktora	239
Tabela 35. Prosečno protočno vreme u postojećem i novom stanju	282
Tabela 36. Kolmogorov-Smirnov i Shapiro-Wilk testovi za jedan uzorak za protočno vreme	282

Tabela 37. Neparametarski Levene-ov test za jednakost varijansi protočnih vremena u postojećem i novom stanju	283
Tabela 38. Srednja vrednost ranga protočnih vremena za postojeće i novo stanje	283
Tabela 39. Statistika Mann-Whitney U testa razlike u protočnim vremenima za postojeće i novo stanje.....	284
Tabela 40. Medijane protočnih vremena za postojeće i novo stanje	284
Tabela 41. Procentualno učešće radnih naloga koji su završeni kasnije i onih koji su završeni bez kašnjenja	288
Tabela 42. Pearson-ov Hi-kvadrat test razlike procenta poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka pre i nakon primene modela implementacije lin pristupa	289
Tabela 43. Mere simetričnosti Pearson-ovog Hi-Kvadrat testa.....	289
Tabela 44. Vreme kašnjenja u postojećem i novom stanju	291
Tabela 45. Kolmogorov-Smirnov i Shapiro-Wilk testovi za jedan uzorak za vreme kašnjenja	291
Tabela 46. Neparametarski Levene-ov test za jednakost varijansi vremena kašnjenja u postojećem i novom stanju	292
Tabela 47. Srednja vrednost ranga vremena kašnjenja za postojeće i novo stanje	292
Tabela 48. Statistika Mann-Whitney U testa razlike u vremenima kašnjenja za postojeće i novo stanje.....	292
Tabela 49. Medijane vremena kašnjenja za postojeće i novo stanje	293

1. Uvod

Problem koji se istražuje u ovom radu je problem efikasnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema, i načina na koje se njihova efikasnost može unaprediti. Efikasnost proizvodnih sistema predstavlja osnov za dostizanje i održavanje konkurentske pozicije na tržištu. Ovo je posebno važno za nerepetitivne proizvodne sisteme, koji predstavljaju značajan deo privrede u mnogim zemljama. Kako bi osigurali opstanak na tržištu, nerepetitivni proizvođači moraju konstantno raditi na unapređenju efikasnosti poslovanja.

Proizvodnja je proces kombinovanja različitih materijalnih i nematerijalnih ulaza u cilju stvaranja izlaza koji je namenjen tekućoj potrošnji. Ona predstavlja čin stvaranja izlaza, odnosno proizvoda ili usluge, koji ima vrednost za korisnika. Za realizaciju proizvodnje je zadužen proizvodni sistem. Proizvodni sistem, kao i poslovni sistem u celini, ima objekte i veze, procese koji se odvijaju u okviru njega, ulaz i izlaz, kao i druga svojstva sistema. Proizvodni sistem se sastoji iz procesa i funkcija u okviru kojih se izvršavaju određene grupe poslova i zadataka.

Proizvodnja i proizvodni sistemi se mogu klasifikovati na više načina. Jedan od kriterijuma klasifikacije proizvodnje i proizvodnih sistema je i ponovljivost, odnosno repetitivnost proizvodnje, pa se na osnovu toga proizvodnja može podeliti na repetitivnu i nerepetitivnu. Slično tome, i proizvodni sistemi se mogu podeliti na repetitivne i nerepetitivne proizvodne sisteme. Repetitivna proizvodnja predstavlja ponovnu (ponavljajuću) proizvodnju manjeg skupa različitih proizvoda koji su standardni, ili čija se varijantnost dobija kombinovanjem standardnih modula i komponenti, u dužem vremenskom periodu. Kod repetitivne proizvodnje diferencijacija proizvoda obično nastupa u kasnijim fazama proizvodnje. Obimi proizvodnje su relativno veliki za pojedine proizvode u odnosu na ukupan obim proizvodnje, gde je veliki procenat raspoloživih kapaciteta posvećen jednom proizvodu ili familiji proizvoda. Nerepetitivna proizvodnja podrazumeva, pre svega, stratešku odluku da se korisnicima nude proizvodi koji su posebno prilagođeni njihovim zahtevima, odnosno da se proizvodi tek onda kada postoji direktna porudžbina od strane kupca. Proizvodi su visoko prilagođeni zahtevima kupca, i mogu biti jedinstveni, gde diverzifikacija počinje već u ranim fazama proizvodnje.

Efikasnost predstavlja odnos između izlaza iz proizvodnje i ulaza u proizvodnju. Problem povećanja efikasnosti proizvodnje je značajan za preduzeće, zaposlene i društvo u celini. Značajan je za preduzeće jer se unapređivanjem efikasnosti proizvodnje poboljšavaju i ekonomski rezultati što omogućava stvaranje dodatnih sredstava za razvoj preduzeća. Značajan je za zaposlene jer se unapređivanjem efikasnosti proizvodnje mogu povećati zarade i poboljšati uslovi rada. Značajan je za društvo jer se povećanjem efikasnosti proizvodnje povećava životni standard u celom društvu kroz veće prihode od poreza i doprinosa, veću količinu raspoloživih materijalnih dobara i veće zarade zaposlenih (Slović, 2007).

Efikasnost proizvodnje se često ocenjuje performansama kompanije, odnosno varijablama koje pokazuju koliko je određena kompanija uspešna u odnosu na unapred postavljene ciljeve ili u odnosu na konkurenciju. Skup performansi koje koristi neka kompanija obično uključuje dve grupe pokazatelja: (i) finansijske performanse; i (ii) nefinansijske, odnosno operativne performanse. Operativne performanse su varijable koje se koriste u ocenjivanju procesa. One predstavljaju učinak kompanije koji se meri u odnosu na standardne ili propisane indikatore efektivnosti, efikasnosti ili ekološke odgovornosti. Operativne performanse se mogu razvrstati na više načina. Jedan od načina je razvrstavanje na kvalifikujuće i opredeljujuće. Kvalifikujuće performanse su karakteristike konkurentnosti koje kompanija mora da poseduje kako bi mogla da nastupa na tržištu. Na primer, kompanija može da odluči da se na tržištu ne nadmeće cenom, ali da bi kupci uopšte uzeli u razmatranje njenu ponudu, cena njenih proizvoda mora biti u okviru određenih granica. Opredeljujuće performanse obezbeđuju da kupac da prednost proizvodu određene kompanije u odnosu na druge proizvode na tržištu. Opredeljujuće performanse se biraju iz skupa kvalifikujućih performansi (obično jedna ili dve) kod kojih kompanija želi da ostvari rezultate koji su značajno bolji od konkurencije.

Bez obzira na nivo operativnih performansi, uvek postoji potreba (i mogućnost) da se on poveća. Jedan od načina za unapređenje performansi je i kroz primenu lin pristupa. Lin pristup (često se naziva i lin proizvodnja, ili samo lin) je sistem razvijen u Tojoti nakon drugog svetskog rata kao odgovor na promenjene zahteve kupaca koji su tražili različite proizvode u obimima koji nisu opravdavali masovnu proizvodnju u velikim serijama.

Lin pristup se može definisati kao kontinuirani napor usmeren na eliminisanje rasipanja, kao i uzroka rasipanja. Rasipanja predstavljaju svaki ulaz u proizvodnju, u smislu transformisanih i transformišućih resursa, koji se ne pretvara pravovremeno u izlaz, odnosno vrednost za kupca. Lin pristup svoje korene ima u Tojotinom proizvodnom sistemu, dok je naziv lin ušao u upotrebu u momentu kada među istraživačima na zapadu počinje da raste interesovanje za Tojotin proizvodni sistem. Primeri unapređenja efikasnosti proizvodnje primenom lin pristupa su brojni. Najveći broj primera dolazi iz automobilske industrije, odnosno iz repetitivnih proizvodnih sistema u kojima je lin pristup i razvijen. Međutim, savremena istraživanja govore da postoji interesovanje za korišćenje lin pristupa za unapređenje efikasnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema. Mnogi autori smatraju da će lin pristup u budućnosti sve češće napuštati okvire u kojima je nastao (repetitivni proizvodni sistemi), i biti primenjivan u okruženjima koja se smatraju nestandardnim za primenu lin pristupa, i da je jedan od glavnih zadataka istraživanja lin pristupa otkrivanje punog potencijala primene njegove primene u nerepetitivnim proizvodnim sistemima (Hines et al., 2004; White & Prybutok, 2001; Papadopoulou & Özbayrak, 2005; Melchert et al., 2006). Ipak, broj primera unapređenja efikasnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema je značajno manji od broja primera unapređenja efikasnosti repetitivnih proizvodnih sistema. Pretpostavka je da za to postoji nekoliko razloga: (i) nerepetitivni proizvodni sistemi po karakteristikama mogu biti značajno drugačiji od repetitivnih proizvodnih sistema, pa se može postaviti pitanje da li je lin pristup jednako relevantan za nerepetitivne proizvodne sisteme kao što je relevantan za repetitivne; (ii) lin pristup se u praksi, kroz prizmu repetitivne proizvodnje, često posmatra kao skup alata, a ređe kao filozofski pristup i skup principa koji bi trebalo da mu obezbede univerzalnost; (iii) teško je odbaciti balast repetitivne proizvodnje, i lin pristup u nerepetitivnoj proizvodnji se često posmatra kroz konstrukte koji su karakteristični za repetitivnu proizvodnju; (iv) znanje o primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima nije sistematizovano i strukturirano kao znanje o primeni u repetitivnim proizvodnim sistemima, i ne postoji jedinstveni okvir implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, koji uzima u obzir sve karakteristike specifičnog okruženja, kao ni sve karakteristike lin pristupa. Mnogi autori ističu kako postoje inicijative za primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, ali i da zbog ograničenih istraživanja (u poređenju sa

istraživanjima o primeni lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima) ne postoji jasan odgovor da li je lin pristup primenljiv u nerepetitivnim proizvodnim sistemima ili ne (Gosling & Naim, 2009; Birkie & Trucco, 2016). Gosling & Naim (2009) navode da nedostaje više empirijskih istraživanja u cilju provere primenljivosti lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Imajući u vidu navedeno, postavljaju se dva pitanja:

1. Da li se lin pristup može primeniti u nerepetitivnim proizvodnim sistemima?
2. Da li je primenom lin pristupa moguće unaprediti operativne performanse nerepetitivnih proizvodnih sistema?

U skladu sa identifikovanim pitanjima je formulisan predmet istraživanja. Predmet ovog istraživanja je mogućnost unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema – konkretno protočnog vremena i pouzdanosti isporuke – primenom lin pristupa.

Da bi se odgovorilo na postavljena pitanja, izvršeno je istraživanje mogućnosti unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema primenom lin pristupa, koje se može podeliti na dva dela.

Cilj prvog dela istraživanja je da da odgovor na pitanje da li se lin pristup može primeniti u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. U ovom delu je sprovedeno istraživanje literature, gde su analizirani razvoj lin pristupa, karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema, implikacije koje karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu imati na primenu lin pristupa, i mogućnosti rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa. Rezultat ovog dela istraživanja je model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema, koji je zasnovan na principima lin pristupa, i razvijen u kontekstu karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema.

Cilj drugog dela istraživanja je da da odgovor na pitanje da li je primenom lin pristupa moguće unaprediti operativne performanse nerepetitivnih proizvodnih sistema. Drugi deo istraživanja predstavlja empirijsko istraživanje, i odnosi se na primenu modela koji je razvijen u prvom delu istraživanja u kompaniji ALPHA, koja predstavlja tipičnog

nerepetitivnog proizvođača. Ovaj deo istraživanja obuhvata opis primene modela, kao i rezultate primene modela. Rezultati postignuti primenom modela pokazuju da se na predložen način mogu unaprediti operativne performanse nerepetitivnih proizvodnih sistema.

Doktorska disertacija, nastala kao rezultat sprovedenih istraživanja, je organizovana u sedam glava. Nakon uvoda, u drugoj glavi je prikazan nacrt naučne zamisli, gde su definisani problem, predmet i cilj istraživanja, zatim hipoteze, korišćene metode i očekivani naučni doprinos.

U trećoj glavi je dat sistematski pregled relevantne literature o primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. U ovoj glavi je dat prikaz metodologije analize literature, kao i rezultati analize. Radovi koji su analizirani su podeljeni u dve grupe: radovi koji identifikuju probleme u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, i radovi koji nude rešenja za identifikovane probleme. Na kraju glave je dat kritički osvrt na postojeća istraživanja u oblasti, u kojem su potvrđene pretpostavke o primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima iznete u uvodu.

U četvrtoj glavi je, kroz analizu literature, dat prikaz razvoja lin pristupa, u cilju analize okruženja u kojem je lin pristup razvijen. Nakon toga je data uporedna analiza karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema. Zatim su analizirane implikacije koje karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu imati na implementaciju lin pristupa. Konačno, analizirane su mogućnosti rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa.

U petoj glavi je dat prikaz razvoja modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Model je razvijen u dve faze. U prvoj fazi je kreiran konceptualni okvir primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, dok je u drugoj fazi razvijen model same implementacije.

U šestoj glavi je dat prikaz primene modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema u kompaniji ALPHA, koja predstavlja tipičnog nerepetitivnog proizvođača. U ovom delu istraživanja je detaljno prikazan postupak primene modela, kao i efekti koji su ostvareni primenom modela.

Ostvareni rezultati su statistički analizirani, kako bi se utvrdila značajnost ostvarenih efekata.

U zaključku je dat rezime rezultata istraživanja, kao i zaključna razmatranja u kojima su prikazani naučni i stručni doprinosi disertacije, ograničenja sprovedenog istraživanja, kao i dalji pravci istraživanja.

2. Nacrt naučne zamisli razvoja modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

Nacrt naučne zamisli je ključni deo naučnog istraživanja, i kroz njega se određuju sve najbitnije karakteristike naučnog projekta koje daju osnovu za dalji tok istraživanja. Naučna zamisao istraživanja mogućnosti unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema primenom lin pristupa se, u cilju davanja odgovora na pitanja šta, zašto i kako se istražuje, razrađuje kroz definisanje sledećih elemenata:

- problema istraživanja;
- predmeta istraživanja;
- ciljeva istraživanja;
- hipoteza u istraživanju;
- načina istraživanja; i
- naučne i društvene opravdanosti istraživanja.

Svaki od ovih elemenata će biti definisan u zasebnom poglavlju u nastavku rada.

2.1 Problem istraživanja

Problem koji se istražuje u ovom radu je problem unapređenja efikasnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema. Efikasnost proizvodnih sistema predstavljaju osnov za dostizanje i održavanje konkurentne pozicije na tržištu. Ovo je posebno značajno za nerepetitivne proizvodne sisteme, koji predstavljaju značajan deo privrede u mnogim zemljama. Kako bi osigurali opstanak na tržištu, nerepetitivni proizvođači moraju konstantno raditi na unapređenju efikasnosti poslovanja.

2.1.1 Proizvodnja i proizvodni sistemi

Proizvodnja je proces kombinovanja različitih materijalnih i nematerijalnih ulaza u cilju stvaranja željenog izlaza. Izlaz iz proizvodnje su materijalna dobra ili usluge, koji imaju odgovarajući asortiman, količine, kvalitet i cenu. Resurse čine ljudi (zaposleni), mašine i oprema, energija, materijal, i zemljište i zgrade. Ona predstavlja čin stvaranja izlaza, odnosno proizvoda ili usluge, koji ima vrednost za korisnika. Proizvodni proces

predstavlja izvor ekonomskog blagostanja, koje predstavlja sve ekonomske aktivnosti koje su usmerene direktno ili indirektno na zadovoljavanje potreba čoveka. Stepem do kojeg su potrebe čoveka zadovoljene se obično prihvata kao mera ekonomskog blagostanja. Zadovoljenje potreba proističe iz korišćenja proizvoda koji su proizvedeni. Nivo zadovoljenja potreba se može povećati na dva načina: (i) povećanjem odnosa kvalitet/cena za proizvode koji se koriste; i (ii) povećanjem prihoda koji se ostvaruje proizvodnjom i prodajom proizvoda, tako što se proizvodi više i efikasnije.

Za realizaciju proizvodnje je zadužen proizvodni sistem. Proizvodni sistem, kao i poslovni sistem u celini, ima objekte i veze, procese koji se odvijaju u okviru njega, ulaz i izlaz, kao i druga svojstva sistema. Proizvodni sistem se sastoji iz procesa i funkcija u okviru kojih se izvršavaju određene grupe poslova i zadataka. Proizvodni sistem se može definisati kao sociotehnički sistem, kojeg čini skup međusobno povezanih elemenata koji su organizovani na način koji omogućava generisanje izlaza čija je vrednost veća od troškova koje generisanje izlaza stvara (MacCarthy & Fernandes, 2000). Elementi se mogu svrstati u tri podsistema:

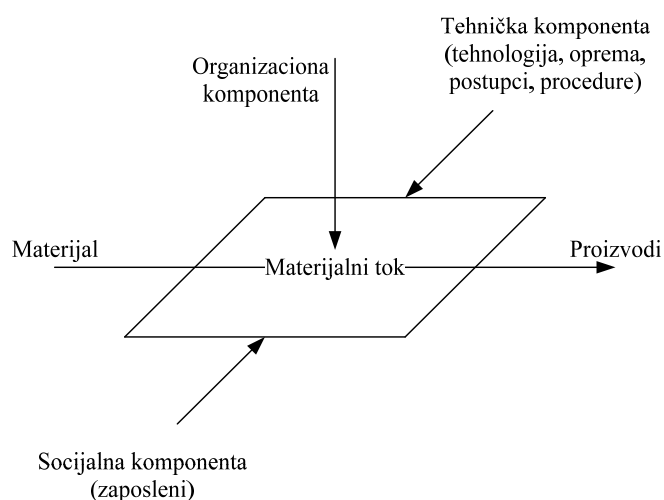
- Tehnički (fizički) podsistem – mašine, oprema, alati, objekti i slično;
- Socijalni podsistem – ljudi, odnosno zaposleni, sa svojim znanjima i sposobnostima i međusobnim interakcijama;
- Organizacioni podsistem – politike i procedure koje podatke transformišu u informacije u procesu odlučivanja; cilj organizacionog podsistema je organizacija i zajednička optimizacija tehničke i socijalne komponente;

Šematski prikaz proizvodnog sistema je dat na Slici 1.

Svaki podsistem predstavlja podskup elemenata koji čine proizvodni sistem, sa sebi svojstvenim karakteristikama. U cilju analize karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema, biće izvršeno poređenje podsistema, odnosno elemenata podsistema sa svojim karakteristikama. Pored toga, poređenje će se vršiti po karakteristikama izlaza iz proizvodnog sistema, odnosno proizvoda. Za poređenje podsistema i izlaza iz sistema će se koristiti sledeći elementi (Schonberger, 1982b; De Toni & Panizzolo, 1993; Levi-Jakšić et al., 1994; Spencer & Cox, 1995; Jina et al.,

1997; Todorović, 1997; MacCarthy & Fernandes, 2000; Muda & Hendry, 2002a; Silva et al., 2006; Heizer & Render, 2011; Bortolotti et al., 2013; Wiendahl et al., 2015):

- Proizvod: konstrukcija proizvoda; prilagođavanje proizvoda; varijetet proizvoda; životni ciklus proizvoda, obim proizvodnje;
- Tehnički podsistem: tip proizvodne opreme; nivo automatizacije; raspored opreme; fleksibilnost opreme; tok materijala; vrste bafera; vrsta materijala;
- Socijalni podsistem: skup znanja; pozicija zaposlenih; zaduženja zaposlenih; organizacija rada zaposlenih; način vođenja zaposlenih;
- Organizacioni podsistem: proizvodna strategija; poslovna orijentacija; način donošenja odluka; nivo detalja potreban za donošenje odluka; nivo na kojem se donose odluke; vremenski horizont odlučivanja; neizvesnost u odlučivanju; brzina promena; sistem upravljanja proizvodnjom;



Slika 1. Model proizvodnog sistema (prilagođeno iz Bellgran & Säfssten, 2009)

Skup elemenata svakog od podsistema nije konačan ni jedini mogući. Ovde su iskorišćeni samo elementi za koje se smatralo da mogu da istaknu razliku između repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema.

2.1.2 Repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi

Proizvodnja i proizvodni sistemi se mogu klasifikovati na više načina. Za potrebe izrade doktorske disertacije je značajna podela proizvodnje sa stanovišta ponavljanja, odnosno

repetitivnosti. Imajući to u vidu, proizvodnju možemo podeliti na repetitivnu i nerepetitivnu.

Račnik Asocijacije operacionih menadžera (ranije Američkog društva za proizvodnju i upravljanje zalihami (*eng. American Production and Inventory Control Society – APICS*); akronim APICS je i dalje u upotrebi), definiše repetitivnu proizvodnju na sledeći način (Blackstone & Jonah, 2013):

Repetitivna proizvodnja je ponovna proizvodnja istih proizvoda ili familija proizvoda. Repetitivna metodologija minimizuje podešavanja opreme, zalihe i proizvodna protočna vremena kroz korišćenje proizvodnih linija, montažnih linija ili proizvodnih ćelija... Proizvodi su standardni, ili sastavljeni od standardizovanih modula.

Repetitivni proizvodni sistemi proizvode manji skup različitih proizvoda, gde se varijantnost postiže različitim načinima kombinovanja standardizovanih modula, dok se diverzifikacija proizvoda postiže u kasnijim fazama proizvodnje. S obzirom da se ista proizvodnja oprema koristi za proizvodnju različitih proizvoda, karakteriše ih izrazita fleksibilnost. Obimi proizvodnje su relativno veliki za pojedine proizvode u odnosu na ukupan obim proizvodnje, gde je veliki procenat raspoloživih kapaciteta posvećen jednom proizvodu ili familiji proizvoda. Proizvodni proces je organizovan sa fokusom na ponavljanje. Tražnja za proizvodima se u dužem vremenskom periodu malo menja, i relativno je predvidljiva. Repetitivni proizvodni sistemi u najvećoj meri proizvode za skladište, ili montiraju proizvode od standardnih komponenti na zahtev kupca. Ovakav tip proizvodnih sistema se najčešće vezuje za automobilsku industriju, ali se koristi i u drugim industrijskim granama, kao što su proizvodnja potrošačke elektronike, proizvodnja računara i slično.

Nerepetitivni proizvodni sistemi proizvode veliki miks različitih proizvoda u obimima koji su mali za pojedine proizvode u odnosu na ukupan obim proizvodnje, i gde je mali procenat raspoloživih kapaciteta posvećen proizvodnji jednog proizvoda. Proizvodnja je organizovana oko aktivnosti, gde je proizvoda oprema grupisana prema nameni. Proizvodi su visoko prilagođeni zahtevima kupca, i mogu biti jedinstveni, gde diverzifikacija počinje već u ranim fazama proizvodnje. Tražnja je promenljiva, i teško

predvidljiva u dužem vremenskom periodu. Proizvodnja u nerepetitivnim proizvodnim sistemima počinje tek onda kada stigne porudžbina. Nerepetitivni proizvodni sistemi u najvećoj meri proizvode prema zahtevima kupca, ili projektuju proizvod na osnovu zahteva kupca koji zatim i proizvode. Ovakav tip proizvodnih sistema se najčešće vezuje za mašinske radionice.

2.1.3 Značaj problema efikasnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema

Problem povećanja efikasnosti proizvodnje je značajan za preduzeće, zaposlene i društvo u celini. Značajan je za preduzeće jer se unapređivanjem efikasnosti proizvodnje poboljšavaju i ekonomski rezultati što omogućava stvaranje dodatnih sredstava za razvoj preduzeća. Značajan je za zaposlene jer se unapređivanjem efikasnosti proizvodnje mogu povećati zarade i poboljšati uslovi rada. Značajan je za društvo jer se povećanjem efikasnosti proizvodnje povećava životni standard u celom društvu kroz veće prihode od poreza i doprinosa, veću količinu raspoloživih materijalnih dobara i veće zarade zaposlenih.

Dinamično tržište forsira uspostavljanje i organizovanje nerepetitivnih proizvodnih sistema. Velika većina globalne proizvodnje otpada na nerepetitivnu proizvodnju, odnosno proizvodnju velikog varijeteta različitih proizvoda koji se u relativno malim obimima proizvode u radioničkim uslovima. Istraživanjem problema povećanja efikasnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema obogaćuje se saznavni fond nauke kroz sistematizaciju znanja o specifičnoj kategoriji proizvodnih sistema, i načinima da se efikasnost tih proizvodnih sistema unapredi primenom pristupa koji su nestandardni za takvo proizvodno okruženje.

2.2 Predmet istraživanja

Predmet istraživanja je mogućnost unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema – konkretno protočnog vremena i pouzdanosti isporuke – primenom lin pristupa.

Istraživanje povećanja efikasnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema obuhvata opis i analizu lin pristupa, karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema i razvoj modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih

proizvodnih sistema. Razvoj modela obuhvata definisanje modela, njegovu analizu kroz simulaciju, primenu u praksi i usavršavanje na osnovu ostvarenih rezultata.

Bez obzira koliko je proizvodnja uspešna, uvek postoji potreba (i mogućnost) da bude još uspešnija. Uspeh proizvodnje se često ocenjuje performansama kompanije, odnosno varijablama koje pokazuju koliko je određena kompanija uspešna u odnosu na unapred postavljene ciljeve ili u odnosu na konkurenciju. Skup performansi koje koristi neka kompanija obično uključuje dve grupe pokazatelja: (i) finansijske performanse; i (ii) nefinansijske, odnosno operativne performanse. Operativne performanse predstavljaju varijable koje se koriste u ocenjivanju procesa. Operativne performanse predstavljaju učinak kompanije koji se meri u odnosu na standardne ili propisane indikatore efektivnosti, efikasnosti ili ekološke odgovornosti.

Lin pristup (često se naziva i lin proizvodnja, ili samo lin) je sistem koji razvijen u Tojoti. Lin pristup se može definisati kao kontinuirani napor usmeren na eliminisanje rasipanja, kao i uzroka rasipanja. Rasipanja predstavljaju svaki ulaz u proizvodnju, u smislu transformisanih i transformišućih resursa, koji se ne pretvara pravovremeno u izlaz, odnosno vrednost za kupca. Primeri unapređenja efikasnosti proizvodnje primenom lin pristupa su brojni, a najveći broj njih dolazi iz auto industrije, odnosno repetitivne proizvodnje, u kojoj je pristup i razvijen. U poslednje vreme, lin pristup sve češće napušta okvire u kojima je nastao (repetitivnu proizvodnju), i upotrebljava se za unapređenje efikasnosti u okruženjima koja se smatraju nestandardnim za primenu lin pristupa. Takav je slučaj i sa nerepetitivnim proizvodnim sistemima, gde jača interesovanje za unapređenje operativnih performansi primenom lin pristupa.

2.3 Cilj istraživanja

2.3.1 Društveni cilj istraživanja

Društveni cilj istraživanja je obezbeđivanje znanja iz oblasti lin proizvodnje, kao i analiza mogućnosti primene tih znanja u cilju unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Nerepetitivni proizvodni sistemi u današnjoj privredi mogu generisati značajan procenat bruto nacionalnog proizvoda. Zbog toga oni predstavljaju značajan faktor u privredi jedne zemlje, pa je neophodno razvijati poseban

skup znanja koji bi mogao da im pomogne da unaprede operativne performanse, imajući u vidu specifične karakteristike i zahteve ovih proizvodnih sistema.

2.3.2 Naučni cilj istraživanja

Naučni cilj istraživanja je proširenje saznanja o mogućnostima unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema primenom lin pristupa. Naučni cilj istraživanja se može podeliti u dva dela. Jedan deo naučnog cilja istraživanja je naučni opis i sistematizacija znanja iz oblasti lin pristupa i naučni opis i sistematizacija znanja iz oblasti nerepetitivnih proizvodnih sistema. Drugi deo naučnog cilja istraživanja je unapređivanje znanja u oblasti lin proizvodnje i provera efekata primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima kroz projektovanje novog originalnog modela primene lin pristupa u nerepetitivnom proizvodnom okruženju na osnovu analize dosadašnjih iskustava, i njegovu eksperimentalnu proveru u kompaniji koja pripada grupi nerepetitivnih proizvođača.

2.4 Hipoteze u istraživanju

U skladu sa definisanim predmetom i ciljem istraživanja definišu se i hipoteze doktorske disertacije.

Opšta hipoteza u istraživanju je:

H0. Moguće je primenom lin pristupa unaprediti operativne performanse nerepetitivnih proizvodnih sistema

Opšta hipoteza se razrađuje kroz posebne i pojedinačne hipoteze:

H1. Moguće je implementirati lin pristup u nerepetitivnim proizvodnim sistemima;

H1.1 Lin pristup je razvijen za potrebe repetitivnih proizvodnih sistema;

H1.2 Karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema se razlikuju od karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema;

H1.3 Primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se razlikuje od primene lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima

- H1.4 Moguće je rešavati probleme u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa
- H1.5 Moguće je formalizovati model implementacije lin pristupa u nerepetitivnom proizvodnom sistemu;
- H2. Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnom okruženju uticati na operativne performanse kompanije;
- H2.1 Protočno vreme i pouzdanost isporuke su elementi skupa operativnih performansi kompanije;
- H2.2 Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa skratiti protočna vremena u nerepetitivnim proizvodnim sistemima;
- H2.3 Moguće je primenom modela lin pristupa povećati pouzdanost isporuke gotovih proizvoda, odnosno smanjiti procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke, kao i prosečno vreme kašnjenja u isporuci u nerepetitivnim proizvodnim sistemima;

2.5 Način istraživanja

Da bi se uspešno realizovala ideja istraživanja, predviđeno je da se za proveru hipoteza koriste sledeći naučni metodi:

- Metod deskripcije, za opisivanje pojava i procesa od važnosti, uz objašnjavanje njihovih svojstvenosti;
- Metode analize i sinteze, koje će biti primenjivane kroz postupak raščlanjivanja složenih pojava, spoznaja i zaključaka na njihove prostije sastavne delove i elemente, kao i obrnuto, kroz postupak izgradnje sistematizovanog teorijskog znanja krećući se od posebnog i izolovanog ka opštem i sveobuhvatnom;
- Metod kompilacije, koji će se odnositi na razmatranje mogućnosti preuzimanja tuđih rezultata naučno-istraživačkog rada, korektno i na uobičajen način citiranih;
- Metod indukcije i dedukcije, koji će se biti primenjivani kroz postupke generalizacije rezultata naučnog istraživanja i izvođenja opštih teorija

- (indukcija), odnosno definisanja teorije i provere njene valjanosti kroz naučno istraživanje (dedukcija);
- Metod apstrakcije i konkretizacije, koji će biti primenjivan kroz postupke izvođenja opštih pravila i koncepata kroz analizu specifičnih primera (apstrakcija), odnosno postupke pokazivanja relevantnosti apstraktnih pravila i koncepata za realni svet (konkretizacija);
 - Metod analize sadržaja, koji će biti primenjivan kroz postupak kontekstualizovane interpretacije dokumenata (u najširem smislu te reči), u cilju izvođenja validnih i pouzdanih zaključaka;
 - Metod studije slučaja, koji će biti primenjivan kroz postupak istraživanja svih važnih aspekata neke pojave, uzimajući za jedinicu proučavanja pojedinca, organizacije ili grupe koje se mogu smatrati celinom, u cilju određivanja postojećeg stanja i uzročnih faktora koji deluju;
 - Metod akcionog istraživanja, koji će biti primenjivan kroz postupak interaktivnog istraživanja pojava i procesa koji kombinuje rešavanje konkretnih problema u organizaciji (kroz saradnju sa zaposlenima u organizaciji) i analizu i istraživanje u cilju razumevanja bazičnih uzroka koji omogućavaju predviđanja u ponašanju organizacije i pojedinaca;
 - Metod modelovanja i simulacije, koji će biti primenjivani kroz postupak simplifikacije relevantnih aspekata situacije iz realnog sveta u cilju njihovog sistematičnog izučavanja, kao i kroz implementaciju modela;
 - Metod merenja, koji se primenjuje kako bi se stekao neophodan uvid u upotrebljivost rezultata svih predloženih rešenja; i
 - Statistički metod, kojim se utvrđuju sve relevantne statističke kategorije, u vezi sa dobijenim rezultatima.

Istraživanje će biti predstavljeno u vidu tekstualnog opisa analize problema, korišćene metodologije i rešenja, koje će biti praćeno i različitim grafičkim i tabelarnim prikazima i interpretacijama rezultata i zaključaka.

2.6 Naučna i društvena opravdanost istraživanja

Naučna opravdanost istraživanja se ogleda u unapređenju spoznaje o mogućnosti unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvođača primenom lin pristupa. Razvojem modela primene lin pristupa u nerepetitivnoj proizvodnji obogaćuje se saznajni fond nauke. Pored toga istraživanje, svojim rezultatima i iskustvima, doprinosi i unapređenju metodologije kao zasebne naučne discipline. Taj doprinos se ogleda u unapređenju tehničkih postupaka i instrumentarija i logičko-saznajnog pristupa.

Društvena opravdanost istraživanja se ogleda u mogućnosti rešavanja društvenog problema unapređenja efikasnosti kompanija koje posluju u nerepetitivnom proizvodnom okruženju, kroz primenu modela lin proizvodnje koji je prilagođen specifičnim potrebama i karakteristikama pomenutih kompanija.

2.7 Očekivani naučni doprinos

Očekivani naučni doprinos se ogleda pre svega u:

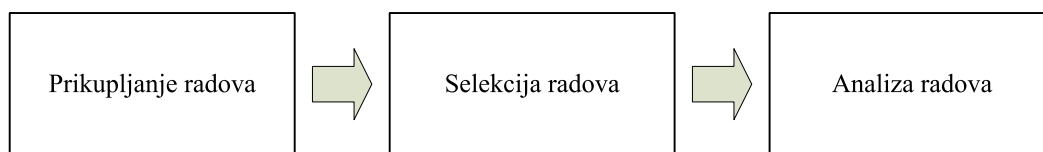
- razvoju novog modela implementacije lin pristupa koji je prilagođen karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema;
- proveru mogućnosti primene modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima za unapređenje operativnih performansi;
- oceni predloženog modela na osnovu evaluacije rezultata provere;
- pregledu postojećeg stanja u izučavanju lin pristupa, sa posebnim osvrtom na primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima;
- kritičkom osvrtu na dosadašnje rezultate istraživanja u ovoj oblasti;
- generisanju preporuka za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

3. Primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima – pregled literature

Kako bi se izvršila detaljna analiza trenutne situacije oblasti primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, sprovedena je detaljna analiza radova objavljenih u naučnim časopisima koj se bave pomenutom problematikom. Pretraga je bila ograničena samo na radove koji su objavljeni u časopisima sa recenzijom i impakt faktorom. Prednost ovih radova je u tome što je proces recenzije robustan i strukturiran, što obezbeđuje kvalitet, i što ovakvi radovi podrazumevaju određenu originalnost. Radovi prezentirani na konferencijama i knjige su izostavljene iz analize zbog nemogućnosti kontrole kvaliteta tih publikacija. Detaljan opis metodologije koja je korišćena prilikom pretraživanja, kao i rezultati pretraživanja, dati su u nastavku.

3.1 Metodologija korišćena u analizi literature o primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Radi obezbeđivanja sveobuhvatnosti i nepristrasnosti u pregledu literature, sistematičan metod je korišćen za pribavljanje i selektovanje radova koji su kasnije analizirani, poštujući smernice koje su postavili Tranfield et al. (2003). Postupak je sproveden kroz tri faze koje su prikazane na Slici 2. U naredna tri poglavlja će detaljno biti opisana svaka od faza.



Slika 2. Faze korišćene u analizi literature

3.1.1 Prikupljanje radova

Kao primarni izvori su korišćeni radovi koji su indeksirani u bibliografskim bazama Science Direct[®], SCOPUS[®] i ISI Web Of Science[®]. Inicijalni rezultati pretrage su provereni kroz dodatnu pretragu, koja je obavljena korišćenjem Google Scholar servisa, kako bi se obezbedila sveobuhvatnost pretrage, i kako bi se osiguralo da baza prikupljenih radova bude što kompletnija. Pre same pretrage su identifikovane ključne

reči i termini koji će biti korišćeni, a koji će zatim biti prevedeni u pojmove za pretragu. Formirane su dve grupe ključnih reči i termina. Prva grupa je uključivala ključne reči koje se tiču samog lin pristupa. Ova grupa se može učiniti heterogenom, ali je ovakav pristup bio neophodan s obzirom da ne postoji konsenzus oko toga šta zapravo čini lin pristup (White & Prybutok, 2001). Prvu grupu su činile sledeće ključne reči: *lean, lean manufacturing, lean production, Toyota Production System, TPS, Just-In-Time, JIT, World Class Manufacturing, WCM*. Drugu grupu su činile ključne reči koje su vezane za nerepetitivnu proizvodnju (*non repetitive, high variety, job shop, make-to-order, engineer-to-order, high mix/low volume, mass customization*). I ova grupa deluje heterogeno, ali je i ovde to bilo neophodno kako bi se obuhvatile sve karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema, s obzirom da ne postoji konsenzus oko toga šta se sve smatra nerepetitivnom proizvodnjom (Jina et al., 1997). Kako bi se obezbedila veza između ove dve grupe ključnih reči, korišćeno je logičko pravilo asocijacije „I“ (*AND*). Na primer, „*lean manufacturing*“ *AND* „*non repetitive*“. Kod baza Science Direct[®] i SCOPUS[®] je pretraga bila usmerena na naslov rada, apstrakt i ključne reči, a kod baze ISI Web Of Science[®] je pretraga bila usmerena na temu rada. Pretraga radova je urađena krajem Januara 2015. godine, i nije bila ograničena na poseban vremenski period u kojem su radovi objavljeni. Rezultate inicijalne pretrage je činilo 647 radova.

3.1.2 Selekcija radova

Prvo je urađena eliminacija duplikata, i baza je sa inicijalnih 647 radova svedena na 268. Nakon toga je urađena provera relevantnosti radova. Kako bi se obezbedila relevantnost, svaki rad je analiziran sa stanovišta definicije i primene lin pristupa (ili srodnih koncepata, s obzirom na heterogenost ključnih reči), kao i sa stanovišta karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema, i drugih aspekata koji su značajni za istraživanje. Inicijalno je obavljena analiza naslova rada, ključnih reči, apstrakta i zaključka rada. Radovi kod kojih su postojale nedoumice su pročitani u celini, kako bi se u potpunosti osigurala relevantnost rada. Pored toga, u ovoj fazi su iz baze odstranjivani i radovi koji nisu objavljeni u međunarodnim časopisima sa recenzijom (radovi prezentovani na konferencijama ili objavljeni u zbornicima radova, poglavlja knjiga, master i doktorske teze i slično), kao i radovi koji nisu bili dostupni u celini. Broj radova je u ovoj fazi značajno smanjen, i došlo se do 25 radova koji su značajni sa

aspekta predmeta izučavanja. Kako bi se upotpunio skup radova, pristupilo se analizi sekundarnih izvora informacija, odnosno referenci iz pomenutih 25 radova. Analizom referenci se došlo do još 4 rada, što je uz 25 radova iz primarnih izvora činilo ukupan uzorak od 29 radova. Mali broj radova koji je dodat nakon analize referenci govori o tome da je inicijalni postupak pretrage bio adekvatan.

3.1.3 Analiza radova

U ovoj fazi je obavljena analiza 29 izvora koji su obezbeđeni u prethodne dve faze, kao i ekstrakcija svih relevantnih podataka koji su korišćeni kasnije za analizu. Ekstrahovane informacije uključuju podatke o časopisu u kojem je rad objavljen, o formalnoj definiciji lin pristupa (ukoliko postoji) koja je korišćena u radu (ili definiciji nekog srodnog koncepta), o definiciji rasipanja koja je korišćena u radu (s obzirom da se često lin pristup upravo definiše kao sredstvo za eliminaciju rasipanja), podatke o tome da li je autor rada istraživač ili praktičar (ili kombinacija), podatke o metodologiji koja je korišćena u istraživanju, podatke o tome da li se rad prevashodno bavi identifikovanjem problema u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima ili identifikovanjem načina da se problemi reše (posebna kategorija su radovi koji identifikuju probleme i nude rešenja za identifikovane probleme).

Kod analize metoda istraživanja su korišćene sledeće kategorije, koje su prepoznate kao dominantne u operacionom menadžmentu: teorijsko/konceptualno istraživanje, pregled literature, modeliranje, simulacija, empirijsko istraživanje (Amoako-Gyampah & Meredith, 1989; Pannirselvam et al, 1999; Tomašević et al., 2014). Empirijska istraživanja su dalje klasifikovana kao ankete, studije slučaja, terenske studije, laboratorijski eksperimenti. Pored primene jednog metoda istraživanja, identifikovani su radovi u kojima je primenjivano više metoda istraživanja.

3.2 Kvantitativna analiza rezultata pretrage

Pregled rezultata pretrage je prikazan u Tabeli 1. Tabela daje sumarni prikaz osnovnih rezultata pretrage. U prikaz je uključena referenca rada, naslov rada, časopis u kojem je rad objavljen, podatak o tome da li su autori rada istraživači ili praktičari, metod istraživanja koji je dominantno korišćen u radu, kao i kratak opis teme, odnosno cilja rada. Radovi su poređani hronološki.

Tabela 1. Prikaz i klasifikacija analizirane literature

Referenca	Naslov rada	Časopis	Autor je istraživač/ praktičar	Metodologija	Tema/cilja rada
Eloranta (1992)	The future factory: Challenge for one-of-a-kind production	International Journal of Production Economics	I	Toerijsko /konceptualno istraživanje	Analiza važnosti principa pravovremene proizvodnje za kompanije koje proizvode po porudžbini, kao i mogućnosti primene tih principa u pomenutom okruženju; Zaključak je da su principi pravovremene proizvodnje važni u pomenutom okruženju, ali da je njihova primena otežana
Gargeya & Thompson (1994)	Just-in-time production in small job shops	Industrial Management	I, P	Toerijsko /konceptualno istraživanje	Analiza načina na koji se principi pravovremene proizvodnje mogu primeniti u malim radionicama koje proizvode po porudžbini
Stockton & Lindley (1995)	Implementing Kanbans within high variety/low volume manufacturing environments	International Journal of Operations and Production Management	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Primena grupne tehnologije u cilju uspostavljanja neometanog toka proizvodnje; proizvodne linije se uspostavljaju prema proizvodima koji su grupisani i kategorisani kao "trkači", "ponavljajući" i "stranci"
James-Moore & Gibbons (1997)	Is lean manufacture universally relevant? An investigative methodology	International Journal of Operations and Production Management	I	Empirijsko istraživanje	Poređenje prakse i metoda koji se koriste u avio industriji sa onima koji se koriste u tradicionalnom lin okruženju, odnosno u auto industriji
Lenart & Nof (1997)	Object-oriented design of information integration in sheet metal manufacturing	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Prikaz načina za integrisanje tokova informacija u kompaniji, kao bi se iskoristile prednosti primene pravovremene proizvodnje u kompaniji koja proizvodi po porudžbini
Jina et al. (1997)	Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions	Logistics Information Management	P	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Identifikacija prepreka implementaciji lin pristupa u okruženju koje karakteriše veliki broj različitih proizvoda koji se proizvode u malim obimima, i predlog smernica o primeni lin pristupa u nerepetitivnom proizvodnom okruženju; poređenje repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema
Hendry (1998)	Applying world class manufacturing to make-to-order companies: problems and solutions	International Journal of Operations and Production Management	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Procena primenljivosti principa proizvodnje svetske klase (WCM) u kompanijama koje proizvode po porudžbini; Identifikacija osnovnih problema, i predlozi rešenja za identifikovane probleme

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

Referenca	Naslov rada	Časopis	Autor je istraživač/ praktičar	Metodologija	Tema/cilja rada
Storch & Lim (1999)	Improving flow to achieve lean manufacturing in shipbuilding	Production Planning and Control	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje	Prikaz mogućnosti primene principa uspostavljanja toka stvaranja vrednosti u brodogradnji; lin se pre svega posmatra kroz princip uspostavljanja neometanog toka stvaranja vrednosti
White & Prybutok (2001)	The relationship between JIT practices and type of production system	Omega-International Journal of Management Science	I	Empirijsko istraživanje	Analiza nesuglasica u vezi sa implementacijom pravovremene proizvodnje, kao i veza između aspekata proizvodnje-na-vreme koji su primenjeni i tipa proizvodnog sistema; prikaz rezultata ostvarenih primenom pravovremene proizvodnje u repetitivnim i nerepetitivnim kompanijama
Muda & Hendry (2002a)	Proposing a world-class manufacturing concept for the make-to-order sector	International Journal of Production Research	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Predlog novog modela proizvodnje svetske klase koji odgovara potrebama kompanija koje proizvode po porudžbini, koji omogućava kompanijama da identifikuju svoje prednosti, kao i da utvrde mesta na kojima je potrebno poboljšati funkcionisanje kompanije; model je verifikovan na izabranoj kompaniji
Muda & Hendry (2002b)	Developing a new world class model for small and medium sized make-to-order companies	International Journal of Production Economics	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Model koji je predstavljen u Muda & Hendry (2002a) je unapređen kroz saradnju sa četiri nove kompanije;
Li (2003)	Simulation-based comparison of push and pull systems in a job-shop environment considering the context of JIT implementation	International Journal of Production Research	I	Sumilacija	Poređenje sistema guranja i vučenja proizvodnje u radioničkom okruženju
Muda & Hendry (2003)	The SHEN model for MTO SMEs: a performance improvement tool.	International Journal of Operations and Production Management	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Model koji je predstavljen u Muda & Hendry (2002a), i unapređen u Muda & Hendry (2002b), je dodatno validiran kroz studije slučaja na šest novih kompanija

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

Referenca	Naslov rada	Časopis	Autor je istraživač/ praktičar	Metodologija	Tema/cilja rada
Braglia et al. (2006)	A new value stream mapping approach for complex production systems	International Journal of Production Research	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Prevazilaženje ograničenja u primeni lin pristupa u kompleksnim proizvodnim sistemima, odnosno sistemima sa velikim brojem proizvodnih putanja koje konvergiraju
Lander & Liker (2007)	The Toyota Production System and art: Making highly customized and creative products the Toyota way	International Journal of Production Research	I	Empirijsko istraživanje	Authors explore challenges of implementing lean in non-repetitive company; modifications to traditional lean aproach are presented Analiza izazova prilikom implementacije lin principa u nerepetitivnom proizvodnom okruženju; predlozi modifikacije tradicionalnog lin pristupa kako bi više odgovarao specifičnim uslovima primene
Guan et al. (2008)	Operation and control of flow manufacturing based on constraints management for high-mix/low-volume production	Frontiers of Mechanical Engineering in China	I	Modeliranje	Predlog novog tipa protočne proizvodnje zasnovanog na tehnologiji upravljanja putanjom protoka, u cilju prilagođavanja lin principa proizvodnji širokog asortimana proizvoda u malim količinama; prikaz formiranja adaptibilnih virtualnih proizvodnih linija (nazvanih putanjama protoka) koje odgovaraju različitim familijama proizvoda; primena principa teorije ograničenja u uspostavljanju protočne proizvodnje
Slomp et al. (2009)	A lean production control system for high-variety/low-volume environments: A case study implementation	Production Planning and Control	I	Empirijsko istraživanje	Analiza primenjivosti lin pristupa u okruženju koje se karakteriše širokim miksom proizvoda koji se proizvode u malim količinama, kroz primenu principa uravnoteženja proizvodnje, vučenja proizvodnje i takta
Bokhorst & Slomp (2010)	Lean production control at a high-variety, low-volume parts manufacturer	Interfaces	I	Empirijsko istraživanje, Simulacija	Prikaz faznog pristupa uvođenja lin principa (CONWIP, FIFO i takt) u kompaniji, u cilju smanjenja protočnog vremena (odnosno, povećanja brzine) i poboljšanja pouzdanosti isporuke
Olhager & Prajogo (2012)	The impact of manufacturing and supply chain improvement initiatives: A survey comparing make-to-order and make-to-stock firms	Omega-International Journal of Management Science	I	Empirijsko istraživanje	Analiza primenjivosti pristupa poboljšanju proizvodnje (konkretno, internih lin praksi, logističkih integracija i racionalizacije dobavljača) u kompanijama koje proizvode za skladište i u kompanijama koje proizvode po porudžbini

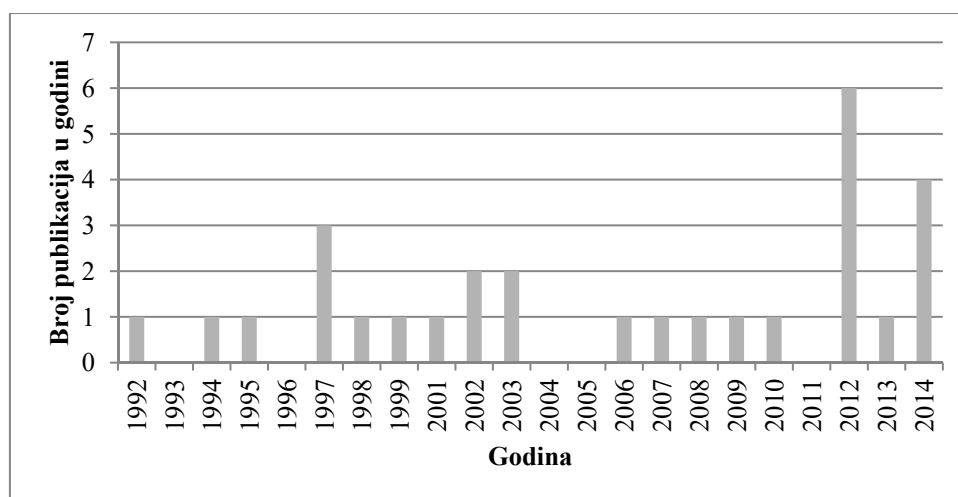
Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

Referenca	Naslov rada	Časopis	Autor je istraživač/ praktičar	Metodologija	Tema/cilja rada
Stump & Badurdeen (2012)	Integrating lean and other strategies for mass customization manufacturing: A case study	Journal of Intelligent Manufacturing	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Analiza potencijala integracije lin proizvodnje sa drugim proizvodnim strategijama u kompanijama koje posluju po principima masovnog prilagođavanja
Deflorin & Scherrer-Rathje (2012)	Challenges in the transformation to lean production from different manufacturing-process choices: a path-dependent perspective	International Journal of Production Research	I	Empirijsko istraživanje	Poređenje lin transformacije u zanatskom proizvodnom okruženju sa masovnom proizvodnjom, uz prikaz liste specifičnih izazova sa kojima se susreću proizvođači koji ne proizvode prema principima masovne proizvodnje; izazovi su analizirani na osnovu 4P Tojotinog proizvodnog sistema;
Portioli-Staudacher & Tantardini (2012a)	A lean-based ORR system for non-repetitive manufacturing	International Journal of Production Research	I	Sumilacija	Prikaz obezbeđivanja neometanog toka u nerepetitivnim proizvodnim sistemima kroz korišćenje sistema za reviziju i puštanje poslova u proizvodnju, i razvoj sistema koji je u skladu sa lin principima, kroz uravnoteženje opterećenja radnih centara
Thürer et al. (2012)	Workload Control and Order Release: A Lean Solution for Make-to-Order Companies	Production and Operations Management	I	Sumilacija	Prikaz načina kontrole zaliha u nerepetitivnim proizvodnim sistemima; kontrola opterećenja može učiniti da nerepetitivni proizvodni sistemi postanu lin, primenjujući koncepte kao što su heijunka, kontrola zaliha nedovršene proizvodnje, primena sistema vučenja proizvodnje, i slično
Portioli–Staudacher & Tantardini (2012b)	Lean implementation in non–repetitive companies: a survey and analysis	International Journal of Services and Operations Management	I	Pregled literature	Analiza specifičnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema, i prepreka koje se mogu javiti u implementaciji lin pristupa u takvom okruženju
Bortolotti et al. (2013)	Assessing the impact of just-in-time on operational performance at varying degrees of repetitiveness	International Journal of Production Research	I	Empirijsko istraživanje	Istraživanje u cilju analize uticaja karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema, konkretno prilagođavanja proizvoda i varijacija u tražnji, na operativne performanse, odnosno efikasnost i responzivnost proizvodnje; (autori tvrde da nije neophodno prisustvo obe karakteristike kako bi proizvodnja bila nerepetitivna)

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

Referenca	Naslov rada	Časopis	Autor je istraživač/ praktičar	Metodologija	Tema/cilja rada
Djassemi (2014)	Lean adoption in small manufacturing shops: Attributes and challenges	Journal of Technology, Management, and Applied Engineering	I	Empirijsko istraživanje	Prikaz strategije implementacije lin pristupa u maloj radionici
Powell et al. (2014)	A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-order Manufacturers	Procedia \{CIRP\}	I	Teorijsko /konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	Analiza pet principa lin proizvodnje, i njihove relevantnosti za kompanije koje koriste strategiju projektovanja po porudžbini; drugi skupovi principa su takođe analizirani, i novi skup principa je predložen, koji odgovara specifičnostima projektovanja po porudžbini
Thürer et al. (2014)	Lean Control for Make-to-Order Companies: Integrating Customer Enquiry Management and Order Release	Production and Operations Management	I	Sumilacija	Unapređenje rešenja predstavljenog u Thürer et al. (2012); predlog za kontrolisanje sva tri bafera (vreme, kapaciteti, zalihe); upravljanje upitima korisnika je uključeno u prethodni model, kako bi se ujednačila tražnja u okruženju u kojem je nemoguće standardizovati vreme operacija, i kako bi se dalje uravnotežilo opterećenje radnih centara; upravljanje upitima korisnika ima ulogu Heijunka u tradicionalnim lin sistemima;
Matt (2014)	Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems: A case study	Journal of Manufacturing Technology Management	I	Empirijsko istraživanje	Analiza primenjivosti mapiranja toka vrednosti (VSM) u nerepetitivnom proizvodnom okruženju, konkretno u kompaniji za projektovanje i izradu čeličnih elemenata; predlog adaptacije i novog načina korišćenja mape toka vrednosti u cilju povećane primenjivosti prilikom projektovanja kompanija koje koriste strategiju projektovanja prema porudžbini prema lin principima

Kao što je ranije navedeno, u konačnu listu je ušlo 29 radova. Najstariji rad koji je u celosti bio dostupan za analizu datira iz 1992. godine. Poslednji rad koji je analiziran je objavljen u 2014. godini. Značajan skok u broju objavljenih radova primećujemo u 2012. godini, kada je objavljeno 6 radova, odnosno u 2014. godini, kada su objavljena četiri rada. Ovakvi rezultati su u skladu sa ranijim istraživanjima, koja navode da će jedna od dominantnih tema u istraživanju lin pristupa u XXI veku biti upravo primena lin pristupa u industrijama koje karakterišu mali obimi proizvodnje (Hines et al., 2004). Međutim, i pored toga se primećuje da je zrelost naučne literature koja tretira primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima još nije visoka, s obzirom na ukupan broj radova koji su ušli u konačnu bazu. Pregled broj radova publikovanih po godinama je dat na Slici 3.



Slika 3. Pregled broja publikovanih radova na temu primenene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, po godinama

Autori radova su dominantno istraživači, osim u dva slučaja gde su autori jednog rada isključivo praktičari, dok je drugi rad nastao u saradnji istraživača i praktičara. S obzirom na relativno mali broj radova na temu primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, postavlja se pitanje kvaliteta izdatih radova. Kako bi se odgovorilo na ovo pitanje, urađene su dve analize. Prva analiza tretira distribuciju radova koji se bave primenom lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima po pojedini časopisima. Ovde još jednom treba napomenuti da su u obzir uzeti samo časopisi koji recenziraju radove pre objavljivanja. Pregled časopisa, kao i broj radova na pomenutu temu koje je objavio određeni časopis, je dat u Tabeli 2.

Tabela 2. Distribucija radova po časopisima

Naziv časopisa	Broj radova u časopisu
International Journal of Production Research	7
International Journal of Operations and Production Management	4
Omega-International Journal of Management Science	2
Production and Operations Management	2
International Journal of Production Economics	2
Production Planning and Control	2
Procedia \{CIRP\}	1
Logistics Information Management	1
Journal of Technology, Management, and Applied Engineering	1
Industrial Management	1
International Journal of Computer Integrated Manufacturing	1
Journal of Intelligent Manufacturing	1
Interfaces	1
Journal of Manufacturing Technology Management	1
Frontiers of Mechanical Engineering in China	1
International Journal of Services and Operations Management	1
Ukupno	29

Iz Tabele 2. se vidi da je najveći broj radova objavljen u časopisu *International Journal of Production Research* (sedam radova). Broj objavljenih radova u ovom časopisu je relativno velik, pa se može reći među urednicima postoji sistemska zainteresovanost za ovu temu. Osim toga, pomenuti časopis ima najveću frekvenciju izlaženja, pa se i u tome mogu tražiti razlozi relativno velikog broja radova objavljenih u njemu. Nakon toga slede časopisi *International Journal of Operations and Production Management* sa četiri rada, i časopisi *Omega-International Journal of Management Science*, *Production and Operations Management*, *International Journal of Production economics* i *Production Planning and Control* sa po dva rada. U ostalim časopisima je objavljen po jedan rad. Ono što govori u prilog kvalitetu pomenutih radova je činjenica da je veliki broj časopisa sa ove liste koji su objavili više od jednog rada vrlo cenjen u istraživačkim krugovima, a čemu u prilog idu istraživanja o relativnom značaju časopisa iz oblasti operacionog menadžmenta (Soteriou et al., 1999; Barman et al., 2001; Theoharakis et al., 2007; Machucha et al., 2007). Druga analiza obrađuje citiranost časopisa koji se bave pomenutom temom. Scopus[©] i ISI Web of Science[©] daju podatke o citiranosti radova, dok Science Direct[©] te podatke ne daje. Kako svi radovi nisu indeksirani u

svakoj od baza koje su korišćene za pretragu, nije bilo moguće preuzeti podatke o citiranosti samo iz jedne baze. Kao kompromisno rešenje je izabrano da se podaci o citiranosti preuzmu iz Google Scholar[®] baze, s obzirom da su tu indeksirani svi radovi koji su ušli u konačnu bazu za analizu. Iako se o načinu na koji Google Scholar[®] broji citiranost može polemisati, ovo je bio jedini način da se sa jedinstvenog mesta prikupe podaci o citiranosti. Podaci su dati u Tabeli 3.

Tabela 3. Citiranost radova prema Google Scholar[®] bazi

Referenca	Broj citata
James-Moore & Gibbons (1997)	149
White & Prybutok (2001)	142
Braglia et al. (2006)	118
Lander & Liker (2007)	94
Hendry (1998)	89
Jina et al. (1997)	81
Storch & Lim (1999)	60
Muda & Hendry (2002a)	39
Slomp et al. (2009)	39
Gargeya & Thompson (1994)	35
Muda & Hendry (2002b)	30
Stump & Badurdeen (2012)	30
Muda & Hendry (2003)	24
Thürer et al. (2012)	20
Olhager & Prajogo (2012)	19
Stockton & Lindley (1995)	18
Li (2003)	16
Deflorin & Scherrer-Rathje (2012)	15
Bokhorst & Slomp (2010)	10
Portioli-Staudacher & Tantardini (2012b)	10
Bortolotti et al. (2013)	10
Eloranta (1992)	8
Portioli-Staudacher & Tantardini (2012a)	7
Guan et al. (2008)	6
Lenart & Nof (1997)	5
Thürer et al. (2014)	5
Djassemi (2014)	0
Powell et al. (2014)	0
Matt (2014)	0

Iz Tabele 3. se može videti da radovi koji su odabrani za analizu imaju značajnu citiranost, što govori u prilog kvalitetu radova. James-Moore & Gibbons (1997), White & Prybutok (2001) i Braglia et al. (2006) su citirani preko sto puta, dok je velika većina radova citirana deset ili više puta. Samo tri rada nijednom nisu citirana (Djassemi, 2014; Matt, 2014; Powell et al., 2014), što je i razumljivo, s obzirom da se radi o radovima koji su objavljeni 2014. godine.

Kada je u pitanju metodologija, dominantan pristup istraživanju je empirijsko istraživanje, jer gotovo polovina radova koristi upravo ovaj metod. Zatim sledi kombinacija teorijsko/konceptualnog i empirijskog istraživanja, koja je korišćena u pet radova, a nakon toga simulacija, koja je korišćena u četiri rada. Prikaz metoda koje su najčešće korišćene u analiziranim radovima je dat u Tabeli 4.

Tabela 4. Najčešće korišćene metode u istraživanju primene lin pristupa u
nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Metodologija istraživanja	Broj pojavljivanja
Empirijsko istraživanje	14
Teorijsko/konceptualno istraživanje, Empirijsko istraživanje	5
Simulacija	4
Toerijsko/konceptualno istraživanje	3
Empirijsko istraživanje, Simulacija	1
Modeliranje	1
Pregled literature	1
Ukupno	29

Interesantno je ove rezultate uporediti sa rezultatima istraživanja koja analiziraju (između ostalog) koji metodi su najčešće korišćeni u operacionom menadžmentu. Amoako-Gyampah & Meredith (1989) ističu kako je modeliranje dominantna metodologija koja se koristi u istraživanju u operacionom menadžmentu, što potvrđuju i istraživanja novijeg datuma (Pannirselvam et al, 1999; Tomašević et al., 2014). Ovde se pre svega misli na matematičko modeliranje, dok grafički, tabelarni i slični modeli spadaju u kategoriju konceptualnih istraživanja. Korišćenje modeliranja kao dominantne metode se opravdava činjenicom da ovakva istraživanja najčešće traju kraće od empirijskih istraživanja, i da je objavljivost radova koji modeliranje koriste kao dominantan metod veća (Barratt et al., 2011; Tomašević et al., 2014). Zbog toga su

rezultati dobijeni u ovom istraživanju još značajniji, s obzirom da empirijsko istraživanje dominantan metod. Ovo pokazuje da radovi koji se bave primenom lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima pokušavaju da identifikuju realne probleme u proizvodnji, i predlažu rešenja koja su primenljiva u realnom okruženju. Važno je primetiti i da je dobar broj radova teorijsko/konceptualnog tipa upotpunjen empirijskom verifikacijom predloženih rešenja. Treba istaći da se samo jedan rad bavi strukturiranom i sistematizovanom analizom literature o primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

3.3 Lin pristup u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Kao što je ranije u tekstu rečeno, ne postoji jedinstvena i opšteprihvaćena definicija lin pristupa, kao što ne postoji ni konsenzus oko toga šta zapravo čini lin pristup (White & Prybutok, 2001). Postoje definicije koje su ustaljene, često citirane, i koje najčešće opisuju lin pristup kao skup alata i principa koji za cilj ima eliminisanje rasipanja u proizvodnji (Liker, 1996; Womack & Jones, 1996; Shah & Ward, 2003; Taj & Berro, 2006; Shah & Ward, 2007). Međutim, postavlja se pitanje koliko te definicije mogu uspešno da apostrofiraju probleme koji se javljaju u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, i koliko uspešno mogu da ponude rešenja za identifikovane probleme. Kako bi se analiziralo šta se zapravo smatra lin pristupom u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, izvršena je identifikacija i analiza formalnih definicija lin pristupa koje su korišćene u radovima koji su obrađeni. Gde god je bilo moguće, identifikovana je definicija lin pristupa. S obzirom da je skup ključnih reči koje su korišćene u pretrazi radova relativno velik, a da mnogi koncepti savremene proizvodnje dele iste principe kao lin pristup, iz radova su izvlačene i definicije koje se ne odnose direktno na lin pristup, već na neki od drugih koncepata koji su korišćeni u pretrazi (na primer, definicije Tojotinog proizvodnog sistema, definicije pravovremene proizvodnje, definicije proizvodnje svetske klase, i slično). Prikaz definicija koje su korišćene u analiziranim radovima je dat u Tabeli 5. Ukoliko definicija predstavlja referencu na neki drugi rad, referenca tog rada je stavljena u zagradu.

Prvo što se iz tabele primećuje je da u devet radova ne postoji nikakva definicija lin pristupa, niti bilo kakvog srodnog proizvodnog koncepta. Osam radova daje definiciju lin pristupa koja uključuje eliminisanje rasipanja (Gargeya & Thompson, 1994; Storch

& Lim, 1999; Lander & Liker, 2007; Deflorin & Scherrer-Rathje, 2012; Olhager & Prajogo, 2012; Bortolotti et al., 2013; Djassemi, 2014; Powell et al., 2014). Pri tome, tri od osam radova ne daju nikakvu definiciju rasipanja (Lander & Liker, 2007; Deflorin & Scherrer-Rathje, 2012; Olhager & Prajogo, 2012). Gargeya & Thompson (1994), Storch & Lim (1999) i Djassemi (2014) definišu rasipanja kao sve ono što ne dodaje vrednost proizvodu ili usluzi. Bortolotti et al. (2013) kao rasipanja definišu tradicionalnih sedam rasipanja, dok Powell et al. (2014) pod rasipanjima smatraju sve što povećava troškove bilo kakve vrste, a čijom se eliminacijom ne umanjuje vrednost proizvoda. Primetno je da veliki broj radova koji lin pristup definiše u odnosu na rasipanja, termin rasipanja koristi u tradicionalnom smislu, odnosno pod rasipanjima najčešće podrazumeva sedam „lin rasipanja“. Međutim, postavlja se pitanje koliko je svrsishodno na taj način definisati rasipanja (pa i lin proizvodnju) u okruženju koje je značajno različito od onog u kojem su ta rasipanja i identifikovana. Na primer, kao jedno od najznačajnijih rasipanja se pominje prekomerna proizvodnja, koja podrazumeva proizvodnju proizvoda pre nego što je zaista nastala tražnja za tim proizvodima, i koja u velikoj meri utiče na pojavu ostalih šest rasipanja. Ovako definisano rasipanje ne odgovara uslovima poslovanja nerepetitivnih proizvodnih kompanija, koje u velikoj meri posluju po principu proizvodnje po porudžbini (ili projektovanja po porudžbini), gde proizvodnja ne počinje pre nego što kupac dostavi svoj upit, odnosno poruči određenu količinu proizvoda. Pojam zaliha, koji se često vezuje za prekomernu proizvodnju, je takođe neophodno redefinisati. Zalihama se javljaju u obliku sirovog materijala, zaliha u procesu proizvodnje, kao i u obliku zaliha gotovih proizvoda. S obzirom da se proizvodnja u velikoj meri (ili u celosti) obavlja po porudžbini, bar jedan oblik zaliha, a to su zalihe gotovih proizvoda, nije relevantan koliko i u repetitivnim proizvodnim sistemima. U nerepetitivnom proizvodnim sistemima značajniju ulogu imaju *mura* (varijacije) i *muri* (preopterećenje) s obzirom da se nerepetitivna proizvodnja odvija u okruženju koje karakteriše visok nivo varijacija, i da upravo te varijacije (posebno varijacije u tražnji) kao posledicu mogu imati periode prekomernog opterećenja resursa kompanije (ljudi i mašina).

Hendry (1998), Muda & Hendry (2002a) i Muda & Hendry (2002b) u svojim radovima koriste pojam proizvodnje svetske klase (*World Class Manufacturing – WCM*). Težnja ka proizvodnji svetske klase ima za cilj uspostavljanje odgovarajućih programa

unapređenja proizvodnje koji će pomoći kompaniji da ostane konkurentna u novoj eri proizvodnje (Muda & Hendry, 2002a). Kao jedan od programa unapređenja proizvodnje koji kompaniji može obezbediti konkurentsku poziciju, a koji veliki deo svojih principa deli sa proizvodnjom svetske klase, je i lin pristup (Hendry, 1998; Muda & Hendry, 2002a; Muda & Hendry, 2002b; Muda & Hendry, 2003).

Tabela 5. Pregled definicija lin pristupa (ili povezanih koncepata) korišćenih u analiziranim radovima

Referenca	Formalna definicija lin pristupa (ili povezanih koncepata)
Eloranta (1992)	Nema
Gargeya & Thompson (1994)	Pravovremena proizvodnja je proizvodna filozofija zasnovana na tri osnovna principa: eliminacija rasipanja, kontinualno poboljšavanje kvaliteta, i aktivno učešće zaposlenih u planiranju i izvođenju operacija;
Stockton & Lindley (1995)	Nema
James-Moore & Gibbons (1997)	Lin pristup je definisan kroz principe obezbeđenja nesmetanog toka proizvodnje kroz primenu pravovremene proizvodnje, prevencije defekata, organizovanja proizvodnje po sistemu vučenja, organizovanja fleksibilnih multifunkcionalnih radnih timova, aktivnog učešća svih zaposlenih u pronalaženju uzroka problema i integracije čitavog lanca snabdevanja kroz uspostavljanje partnerstva sa dobavljačima i korisnicima
Jina et al. (1997)	Lin proizvodnja je sredstvo za organizovanje svih poslovnih procesa u cilju isporučivanja proizvoda koji ima visoku vrednost za korisnika i superioran kvalitet, koristeći manje resursa, i za rok koji je kraći od onog koji se može postići u masovnoj proizvodnji;
Lenart & Nof (1997)	Nema
Hendry (1998)	Proizvođač svetske klase je onaj koji može da se nadmeće sa najboljim proizvođačima bilo gde u svetu;
Storch & Lim (1999)	Lin pristup identifikuje i eliminiše rasipanja, odnosno aktivnosti u procesu koje ne dodaju vrednost sa stanovišta korisnika;
White & Prybutok (2001)	Termin „pravovremena proizvodnja“ se koristi kroz rad; pravovremena proizvodnja se sastoji od principa koji su slični lin principima; pravovremena proizvodnja je proizvodni princip koji teži ostvarenju proizvodne izvrsnosti; cilj pravovremene proizvodnje je kontinualno poboljšavanje produktivnosti, kvaliteta i fleksibilnosti u okviru organizacije;
Muda & Hendry (2002a)	Proizvođač svetske klase je onaj koji je najbolji u specifičnoj grani industrije (Todd, 1995); Proizvođač svetske klase je u poziciji da se nadmeće na globalnom tržištu (Kanter, 1995);
Muda & Hendry (2002b)	Proizvođač svetske klase je onaj koji je najbolji u specifičnoj grani industrije (Todd, 1995); Proizvođač svetske klase je u poziciji da se nadmeće na globalnom tržištu (Kanter, 1995);
Li (2003)	Nema
Muda & Hendry (2003)	Nema
Braglia et al. (2006)	Glavni koncept lin proizvodnje se sastoji u specifikaciji onoga što stvara vrednost za korisnika, i u stvaranju te vrednosti kroz težnju ka savršenstvu i stvaranje neprekidnog i uravnoteženog toka, vođenog tražnjom korisnika
Lander & Liker (2007)	Lin pristup je skup alata za smanjivanje rasipanja u procesu
Guan et al. (2008)	Nema

***Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema***

Referenca	Formalna definicija lin pristupa (ili povezanih koncepata)
Slomp et al. (2009)	Lin pristup je definisan kroz principe uravnoteženja proizvodnje, sistema vučenja i takta
Bokhorst & Slomp (2010)	Lin pristup kompanijama pruža okvir i skup principa za identifikovanje i eliminisanje nepotrebnih uzroka varijacija i poboljšanje performansi njihovih proizvodnih sistema (Hopp & Spearman, 2004)
Deflorin & Scherrer-Rathje (2012)	Lin pristup je filozofija koja za cilj ima smanjivanje rasipanja i aktivnosti koje ne dodaju vrednost kako bi se poboljšali rezultati u troškovnoj efikasnosti, kvalitetu, produktivnosti, i kako bi se smanjio nivo zaliha i protočna vremena;
Olhager & Prajogo (2012)	Lin pristup eliminiše rasipanja i obezbeđuje usmeren i neometan tok proizvodnje
Portioli-Staudacher & Tantardini (2012a)	Nema
Portioli-Staudacher & Tantardini (2012b)	Nema
Stump & Badurdeen (2012)	Lin pristup povezuje korisnika i radionicu tako što uspostavlja proizvodnju po sistemu vučenja, čime smanjuje nivo zaliha, ukupno protočno vreme, protočno vreme u radionici i slično;
Thürer et al. (2012)	Zaštita protoka od varijacija je ključna stvar u ostvarivanju lin proizvodnje; ograničavanje zaliha nedovršene proizvodnje (zaliha u procesu proizvodnje) je ključno za uspostavljanje sistema vučenja proizvodnje (Hopp & Spearman, 2004)
Bortolotti et al. (2013)	Integrirani socio-tehnički sistem čiji je glavni cilj eliminisanje rasipanja kroz paralelno smanjivanje i minimizaciju varijacija koje dolaze od dobavljača i korisnika, kao i interni varijacija (Shah & Ward, 2007)
Djassemi (2014)	Cilj lin pristupa je eliminisanje svih vrsta rasipanja i aktivnosti koje ne dodaju vrednost, smanjenje troškova proizvodnje, povećanje kvaliteta proizvoda i pouzdanosti isporuke
Matt (2014)	Nema
Powell et al. (2014)	Lin pristup je filozofija i skup alata i tehnika koja ima za cilj identifikovanje i eliminisanje svih rasipanja u proizvodnim operacijama; Integrirani socio-tehnički sistem čiji je glavni cilj eliminisanje rasipanja kroz paralelno smanjivanje i minimizaciju varijacija koje dolaze od dobavljača i korisnika, kao i internih varijacija (Shah & Ward, 2007)
Thürer et al. (2014)	Zaštita protoka od varijacija je ključna stvar u ostvarivanju lin proizvodnje, uz minimalne troškove bafera (Hopp & Spearman, 2004)

Jina et al. (1997) su jedini autori koji u svojoj definiciji stavljaju akcenat na celokupnu kompaniju (ne samo na njen proizvodni deo), navodeći da se lin principi mogu iskoristiti na unapređenje svih poslovnih procesa u kompaniji. Drugi deo definicije je na tragu definicije koju su ponudili Womack et al. (1990), a koja kaže da se lin proizvodnjom mogu postići superiorne performanse, za kraće vreme i uz upotrebu manje resursa. Ostali radovi se prilikom definisanja lin pristupa fokusiraju na proizvodni deo sistema, odnosno na radionicu. Ti radovi se grubo mogu podeliti u dve grupe. Prva grupa radova (James-Moore & Gibbons, 1997; Braglia et al., 2006; Slomp et al., 2009; Stump & Badurdeen, 2012) iznose definicije koje su bliske tradicionalnom posmatranju lin pristupa, i koje fokus stavljaju na uspostavljanje jake veze između

tražnje korisnika i same proizvodnje, odnosno na stvaranje neometanog toka proizvodnje i primenu sistema vučenja proizvodnje. Osim principa obezbeđivanja toka i korišćenja sistema vučenja, u definicijama se još pojavljuju i pojmovi kao što su takt (Slomp et al., 2009), multifunkcionalni timovi i integracija sa dobavljačima i korisnicima (James-Moore & Gibbons, 1997) i aktivno učestvovanje zaposlenih u rešavanju uzroka problema i težnja ka savršenstvu (James-Moore & Gibbons, 1997; White & Prybutok, 2001; Braglia et al., 2006).

Drugu grupu definicija čine one koje se, pre svega oslanjaju viđenje lin pristupa koje su izneli Hopp & Spearman (2004). Prema autorima čiji radovi spadaju u drugu grupu, osnovni cilj lin proizvodnje je eliminisanje varijacija (internih i eksternih) u proizvodnom sistemu, uz minimalne troškove bafera (Bokhorst & Slomp, 2010; Thürer et al., 2012; Thürer et al., 2014). Iako varijacija predstavljaju integralni deo takozvanog 3-MU skupa (*muda, mura, muri*), onako kako ih je Ohno (1988) definisao, popularizacijom lin pristupa na zapadu prelaze u drugi plan, i čak i u revidiranoj verziji knjige *Lean Thinking* se jedva i spominju. Sa druge strane, imamo autore koji tvrde da su upravo varijacije uzrok mnogih gubitaka u kompanijama (Ruffa, 2008), i da predstavljaju jedno od najznačajnijih vrsta rasipanja u proizvodnji – bar istog značaja kao i prekomerna proizvodnje, ako ne i značajnije (Bicheno & Holweg, 2009). Ovakav način definisanja lin pristupa više odgovara nerepetitivnom proizvodnom okruženju, za koje je karakteristično postojanje značajnih varijacija, bilo eksternih (nestalna tražnja, nestandardna saradnja sa dobavljačima) bilo internih (nemogućnost standardizacije operativnih procedura, varijacije u vremenu trajanja operacija). Eksterne varijacije su često posledica strategije kompanije, koja podrazumeva proizvodnju različitih vrsta proizvoda po porudžbini. Međutim, često se interne varijacije javljaju kao posledica eksternih varijacija, i potrebno je na neki način držati ih pod kontrolom. Thürer et al. (2012) proširuju definiciju, uvodeći u nju i pojam vučenja proizvodnje, ali se opet oslanjaju na Hopp & Spearman-a (2004) prilikom definisanja sistema vučenja proizvodnje. Naime, u tradicionalnom tumačenju, sistem vučenja proizvodnje predstavlja zapravo proizvodnju koja je sinhronizovana sa tražnjom korisnika. Proizvodnja počinje onog momenta kada se javi tražnja, a tok materijala između radnih centara se kontroliše upotrebom Kanban kartica, gde takođe proizvodnja na jednom radnom centru počinje onda kada se javi tražnja na narednom radnom centru. Ovakav

način posmatranja sistema vučenja nema mnogo smisla u nerepetitivnim proizvodnim sistemima iz dva razloga: (i) proizvodni sistemi ovakvog tipa najčešće koriste strategiju proizvodnje po porudžbini, gde nema smisla proizvoditi pre nego što se javi tražnja od strane korisnika, s obzirom da se ne može predvideti šta će korisniku trebati; (ii) s obzirom na široku ponudu proizvoda kod ovakve vrste proizvodnje, nije moguće držati međuoperacione zalihe u supermarketima na način na koji se to radi u repetitivnim proizvodnim sistemima, pa samim tim nije moguće koristiti Kanban kartice za kontrolu toka materijala između radnih centara. Hopp & Spearman (2004) definišu sistem vučenja proizvodnje kao onaj sistem koji eksplicitno ograničava nivo zaliha nedovršene proizvodnje. Ova definicija polazi od uloge koju ima Kanban u tradicionalnoj lin proizvodnji, a to je da obezbedi nizak nivo zaliha nedovršene proizvodnje, ali univerzalizuje definiciju tako što ne pominje eksplicitno Kanban. Ovakav način definisanja proizvodnje po sistemu vučenja je vrlo značajan sa stanovišta nerepetitivnih proizvodnih sistema, imajući u vidu da je primena Kanban kartica u kontroli toka materijala veoma teška, s obzirom da nagoveštava da se sistem vučenja može ostvariti i drugim sredstvima.

Kod pokušaja da se odgovori na pitanje „šta se može dobiti primenom lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima?“, vrlo je značajno analizirati rezultate koji su postignuti primenom lin pristupa. Zbog toga je urađena posebna analiza empirijskih radova, koji su kao dominantan metod koristili studiju slučaja ili akciono istraživanje, i rezultata ostvarenih primenom lin pristupa. Pregled rezultata je dat u Tabeli 6. U tabeli su analizirani samo radovi u kojima se prijavljuju konkretna poboljšanja koja su nastala kao posledica implementacije lin pristupa. Ovi radovi kao dominantnu metodologiju koriste studiju slučaja ili akciono istraživanje. Ostali radovi koriste empirijska istraživanja kako bi uporedili praksu implementacije lin pristupa u repetitivnom i nerepetitivnom okruženju, i/ili rezultate primene lin pristupa u repetitivnom i nerepetitivnom okruženju (na primer, James-Moore & Gibbons, 1997; White & Prybutok, 2001; Slomp et al., 2009), ili u cilju verifikacije ponuđenih konceptualnih modela ili rešenja (na primer, Stockton & Lindley, 1995; Muda & Hendry, 2002b; Muda & Hendry, 2003).

Tabela 6. Rezultati primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Referenca	Rezultati ostvareni primenom lin pristupa
Lander & Liker (2007)	Troškovi rada (mereni kao \$plate/\$prodaje) smanjeni za oko 11%; produktivnost (merena kao \$prodaje/broj radnih sati) povećana za oko 47%; prosečno protočno vreme (mereno u danima) smanjeno za oko 38%; poštovanje rokova isporuke povećano za oko 18%; prosečno kašnjenje (u danima) smanjeno za oko 27%; prosečan nivo zaliha (izražen u mesecima) smanjen za oko 65%; procenat defekata smanjen za oko 23%
Slomp et al. (2009)	Poštovanje rokova isporuke povećano sa 55% na više od 80%; niži nivo zaliha nedovršene proizvodnje u sistemu, što smanjuje šansu pojavljivanja poslova koji kasne (crvene porudžbine); vreme proizvodnje smanjeno sa 4,5 dana na približno 1 dan (nakon uvođenja CONWIP sistema), ali je ukupno protočno vreme ostalo isto zbog povećanja vremena koje posao provede u pulu
Stump & Badurdeen (2012)	23% niži prosečan nivo zaliha nedovršene proizvodnje; smanjenje protočnog vremena od oko 45%
Djassemi (2014)	11% poboljšanja u poštovanju rokova isporuke; 37% smanjenja troškova u prekovremenom radu

Iz analize se vidi da se kod primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima najčešće ostvaruju unapređenja u vidu skraćanja protočnog vremena (Lander & Liker, 2007; Slomp et al., 2009; Stump & Badurdeen, 2012), u vidu poboljšanja u poštovanju rokova isporuke (Lander & Liker, 2007; Slomp et al., 2009; Djassemi, 2014), kao i u smanjenju nivoa zaliha nedovršene proizvodnje (Lander & Liker, 2007; Slomp et al., 2009; Stump & Badurdeen, 2012). Ostvarena smanjenja protočnog vremena su značajna, i kreću se od 37% do 45%. Smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje se kreće oko 25%, dok poboljšanja u poštovanju rokova variraju, i kreću se od 11% do 25%. Pri tome je značajno istaći da je poboljšanje u poštovanju rokova od 25% dovelo do toga da se za oko 80% poslova poštuje dogovoreni rok isporuke. Pored navedenog, autori radova prijavljuju i smanjenje troškova proizvodnje, povećanje produktivnosti i smanjenje procenta defekata kao rezultate primene lin proizvodnje. Rezultati su najznačajniji upravo u oblastima koje predstavljaju izvor konkurentske prednosti kompanija koje proizvode po porudžbini, odnosno u kratkim protočnim vremenima, poštovanju rokova isporuke, i ceni (Stevenson et al., 2005).

3.4 Identifikovani problemi i ponuđena rešenja kod primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

U cilju identifikovanja problema u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, kao i potencijalnih istraživačkih pitanja, urađena je klasifikacija selektovanih radova prema dva kriterijuma: radovi koji identifikuju probleme u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, i radovi koji nude rešenje identifikovanih problema. Ovde treba napomenuti da jedan rad može u isto vreme da zadovoljava oba kriterijuma, odnosno rad može identifikovati probleme i nuditi načine da se oni reše. Klasifikacija radova koji identifikuju probleme u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, kao i onih koji nude rešenja identifikovanih problema, prikazana je u Tabeli 7.

Tabela 7. Klasifikacija radova sa stanovišta identifikovanja, odnosno rešavanja problema primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Referenca	Identifikovani problemi	Ponuđena rešenja
Eloranta (1992)	x	
Gargeya & Thompson (1994)	x	
Stockton & Lindley (1995)	x	x
James-Moore & Gibbons (1997)	x	
Lenart & Nof (1997)	x	x
Jina et al. (1997)	x	x
Hendry (1998)	x	x
Storch & Lim (1999)		x
White & Prybutok (2001)	x	
Muda & Hendry (2002a)	x	x
Muda & Hendry (2002b)		x
Li (2003)		x
Muda & Hendry (2003)		x
Braglia et al. (2006)		x
Lander & Liker (2007)	x	x
Guan et al. (2008)	x	x
Slomp et al. (2009)		x
Bokhorst & Slomp (2010)		x
Olhager & Prajogo (2012)	x	
Stump & Badurdeen (2012)	x	x
Deflorin & Scherrer-Rathje (2012)	x	x
Portioli-Staudacher & Tantardini (2012a)	x	x

Referenca	Identifikovani problemi	Ponudena rešenja
Thürer et al. (2012)		x
Portioli–Staudacher & Tantardini (2012b)	x	
Bortolotti et al. (2013)	x	
Djassemi (2014)	x	x
Powell et al. (2014)	x	x
Thürer et al. (2014)		x
Matt (2014)	x	x

3.4.1 Identifikovani problemi u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

U grupu radova koji se bave identifikovanjem problema u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima su uvršteni radovi koji tretiraju specifičnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema, i probleme koji mogu proizići iz tih specifičnosti (Eloranta, 1992; Gargeya & Thompson, 1994; Stockton & Lindley, 1995; James-Moore & Gibbons, 1997; Lenart & Nof, 1997; Jina et al., 1997; Hendry, 1998; White & Prybutok, 2001; Muda & Hendry, 2002a; Lander & Liker, 2007; Guan et al., 2008; Olhager & Prajogo, 2012; Stump & Badurdeen, 2012; Deflorin & Scherrer-Rathje, 2012; Portioli-Staudacher & Tantardini, 2012a; Portioli–Staudacher & Tantardini, 2012b; Bortolotti et al., 2013; Djassemi, 2014; Powell et al., 2014; Matt, 2014). U ovoj grupi radova se mogu identifikovati dve podgrupe: prva analizira probleme i prepreke u primeni lin pristupa u nerepetitivnom okruženju na konceptualnom nivou, tretirajući karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema i poredeći ih sa karakteristikama proizvodnih sistema u kojima se tradicionalno primenjuje lin pristup; druga se odlikuje praktičnijim pristupom, gde se kroz empirijska poređenje prakse primene lin pristupa u repetitivnim i nerepetitivnim proizvodnim sistemima identifikuju potencijalne teškoće i problemi.

Eloranta (1992) u svom radu analizira važnost principa pravovremene proizvodnje (kao što su proizvodno orijentisani raspored opreme, uravnoteženje opterećenja, sistem vučenja proizvodnje, multifunkcionalni timovi, interna standardizacija, uređenost radnih mesta, i slično) za kompanije koje proizvode po porudžbini, i na osnovu podataka dobijenih kroz intervju u 17 kompanija iznosi zaključak da su mnogi od tih principa

veoma značajni za proizvodnju po porudžbini, ali i da su mogućnosti za primenu nekih od njih veoma ograničene.

Ćelijska proizvodnja je model organizovanja radnih mesta koji je zasnovan na grupnoj tehnologiji, a koji čini jedan od integralnih delova lin pristupa. Međutim, mogućnosti primene ćelijske proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima su vrlo ograničene, a često i ne postoje. Jedna od osnovnih karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema je korišćenje univerzalne opreme za proizvodnju, koja omogućava izradu širokog asortimana proizvoda. Upravo tu leži prva prepreka u primeni grupe tehnologije, jer nije racionalno proizvodne resurse dodeliti samo jednoj vrsti proizvoda (Guan et al., 2008). Pored toga, ćelijska proizvodnja podrazumeva postojanje familija sličnih proizvoda, kojima se dodeljuje posebna oprema, kao i timovi radnika, dok u proizvodnji po porudžbini identifikacija familija proizvoda može biti otežana, ili čak onemogućena (Muda & Hendry, 2002a). Ukoliko bi se kompanija ipak odlučila da pokuša sa implementacijom ćelijske proizvodnje, to bi rezultiralo dupliranjem proizvodnim resursa, s obzirom na veliki broj različitih proizvoda koji se izrađuju, što takođe ne predstavlja racionalno rešenje (Gargeya & Thompson, 1994).

Značajnih prepreka ima i u primeni lin principa u kontroli toka materijala u proizvodnji. Lin pristup zagovara proizvodnju po sistemu vučenja, koja podrazumeva direktno reagovanje na tražnju korisnika, a u cilju obezbeđivanja neprekidnog i neometanog toka proizvodnje. Nepredvidljiva tražnja i nepostojanje standardne ponude onemogućava držanje zaliha gotovih proizvoda, ali i zaliha nedovršene proizvodnje koje omogućavaju supermarketima iz kojih se povlače delovi koje konzumiraju radne stanice, što primenu Kanbana čini teškom, vrlo često i nemogućom (Eloranta, 1992; Gargeya & Thompson, 1994; Stockton & Lindey, 1995; White & Prybutok, 2001; Lander & Liker, 2007). Jedna od karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema je i ta što se putanje proizvoda kroz radionicu mogu razlikovati od proizvoda do proizvoda, pa se može javiti mnoštvo signala vučenja, s obzirom da postoji čitav skup radnih stanica na koje predmet rada potencijalno može otići nakon napuštanja određene radne stanice, što dodatno komplikuje uspostavljanje sistema vučenja proizvodnje (Gargeya & Thompson, 1994; Stump & Badurdeen, 2012; Matt, 2014). Pojava neočekivanih događaja, koji nisu

retkost u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, je još jedna od prepreka u organizovanju proizvodnje po sistemu vučenja (Gargeya & Thompson, 1994).

Uravnoteženje opterećenja, ili *heijunka*, je tehnika koja kao primarni cilj ima smanjenje neuravnoteženosti, odnosno varijacija (*mura*), a posledično deluje i na smanjenje rasipanja, i uz kontinualno unapređivanje i standardizaciju operacija predstavlja jedan od temelja Tojotinog proizvodnog sistema, a samim tim i lin pristupa. White & Prybutok (2001) navode da je uravnoteženje jedna od praksi koja se u nerepetitivnim proizvodnim sistemima slabije primenjuje, u poređenju sa repetitivnim proizvodnim sistemima. Eloranta (1992) iznosi još oštiji stav, navodeći da je uravnoteženje opterećenja u kompanijama koje proizvode po porudžbini nemoguće uraditi, a sličnog stava su i Guan et al. (2008). Kao osnovni uzrok nemogućnosti uspostavljanja uravnotežene proizvodnje je prepoznata nepredvidljiva tražnja (Gargeya & Thompson, 1994; James-Moore & Gibbons, 1997; Lander & Liker, 2007). Jina et al. (1997) smatraju da je varijacije u tražnji nemoguće kompenzovati držanjem zaliha gotovih proizvoda, zbog velikog broja različitih proizvoda koji su prilagođeni zahtevima korisnika. Nizak nivo zaliha je poželjan, s obzirom da su zalihe prepoznate kao štetne u lin pristupu. Držanje niskog nivoa zaliha povećava efikasnost proizvodnog sistema, s obzirom da za proizvodnju vezuje manje novca, ali sa druge strane utiče na responzivnost, s obzirom da potrebe korisnika nije moguće zadovoljiti u momentu u kojem nastaju, a da su protočna vremena u proizvodnji po porudžbini često dugačka (Lenart & Nof, 1997; Bortolotti et al., 2013). Uravnoteženje opterećenja obično počinje uspostavljanjem takta proizvodnje, koji je ustaljen i definisan na osnovu tražnje za proizvodima. Međutim, varijacije u tražnji dovode do varijacija u taktu, pa nije moguće ostvariti ustaljeni ritam proizvodnje (Jina et al., 1997; Lander & Liker, 2007). Stump & Badurdeen (2012) su još oštiji u analizi primenjivosti takta u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, tvrdeći da je takt nerelevantan u takvom proizvodnom okruženju.

Nepredvidljivost tražnje ima značajan uticaj i na standardizaciju operacija, kao i na obezbeđivanje kvaliteta proizvoda. Kao jedan od osnovnih problema u proizvodnji po porudžbini u domenu kvaliteta, James-Moore & Gibbons (1997) navode taj što je nemoguće usavršiti proizvodnju određenog proizvoda pre nego što dođe do same

prodaje. Pored toga, problem nastaje i zbog toga što ciljevi kvaliteta nisu fiksirani, već se najčešće menjaju sa svakom novom porudžbinom (Gargeya & Thompson, 1994). Jedna od osnovnih odlika nerepetitivnih proizvodnih sistema je veliki broj različitih proizvoda, što kao posledicu ima veliki protok vremena pre nego što se ponovo javi tražnja za određenim tipom proizvoda, a često se dešava i da se proizvode jedinstveni proizvodi za kojima se tražnja više nikada neće javiti. Kompanije koje posluju u ovakvom proizvodnom okruženju imaju problem da uspostave standarde kvaliteta, jer nemaju mnogo prilika da uče na sopstvenim greškama (Hendry, 1998). Obimi proizvodnje tu takođe igraju značajnu ulogu, s obzirom da su najčešće toliki da ne dozvoljavaju da se obezbedi određeni period „zagrevanja“ proizvodnje koji bi pomogao da se dostigne i održi željeni nivo kvaliteta (Lander & Liker, 2007). Varijacije u proizvodnji otežavaju otkrivanje uzroka lošeg kvaliteta, a ionako dugačka protočna vremena onemogućavaju da se proizvodnja zaustavi onog momenta kada je loš kvalitet otkriven, pa je implementacija inteligentne automatizacije (*jidoka*) otežana (Deflorin & Scherrer-Rathje, 2012; Stump & Badurdeen, 2012). Nemogućnost da se standardizuje kvalitet otežava i uspostavljanje sistema za kontinualno unapređivanje proizvodnje, s obzirom da je teško identifikovati polaznu tačku od koje bi se krenulo sa poboljšanjima (Deflorin & Scherrer-Rathje, 2012). Lander & Liker (2007) navode kako su putanje povratnih informacija u nerepetitivnim proizvodnim sistemima obično dugačke i netransparentne, što dodatno otežava učenje na greškama. Pored toga, česte su promene u dizajnu proizvoda, a nije redak ni slučaj da korisnik u poslednjem momentu izvrši intervenciju na traženom proizvodu, vrlo često u momentu kada je dizajn proizvoda gotov, ili čak i kada je proizvodnja lansirana (James-Moore & Gibbons, 1997; Jina et al., 1997)

Liker (2004) kao jedan od osnovnih principa lin proizvodnje ističe razvoj šire mreže poslovnih partnera, što, između ostalog, podrazumeva i razvijanje tešnje saradnje sa dobavljačima, i pomoć u napredovanju i razvoju. Hines et al. (2004) navode da su obimi proizvodnje kod nerepetitivnih proizvodnih sistema najčešće mali. Posledica toga je da su i količine koje se naručuju male, što sprečava ostvarivanje tešnje veze sa dobavljačima (Gargeya & Thompson, 1994). Hendry (1998) navodi da problemi u integraciji lanca snabdevanja počinju još u fazi projektovanja proizvoda, s obzirom da je zbog karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema (pre svega nestalnosti tražnje i

velikog prilagođavanja proizvoda) teško obezbediti univerzalnost delova. Olhager & Prajogo (2012) navode kako veliki uticaj na performanse kompanije imaju eksterna logistička integracija, koja podrazumeva dobro koordinirani tok materijala od dobavljača do korisnika (proizvođača), i racionalizacija dobavljača, koja podrazumeva ograničavanje baze dobavljača na manji broj, sa kojima se radi na razvijanju strateškog partnerstva, koje se ogleda pre svega kroz visok kvalitet i veliku pouzdanost u isporuci. Međutim, Muda & Hendry (2002a) smatraju da je osnovna prepreka racionalizaciji dobavljača nepostojanje repetitive u proizvodnji, što onemogućava da se kompanija osloni na manji broj strateški odabranih dobavljača.

Pored eksternog lanca snabdevanja, Portioli-Staudacher & Tantardini (2012a) ističu i značaj internog lanca snabdevanja u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Eloranta (1992) primećuje da je proizvodnja slabo integrisana sa ostalim funkcionalnim delovima kompanije. Ovo je posebno značajno u odnosima proizvodnje i projektovanja, kao i proizvodnje i marketinga i prodaje (Eloranta, 1992; Muda & Hendry, 2002a). Lenart & Nof (1997) probleme identifikuju u toku materijala, kao i u toku informacija. Na tok materijala utiče visok stepen prilagođavanja koji karakteriše nerepetitivnu proizvodnju, što dovodi do dugih protočnih vremena. Uzrok dugih protočnih vremena nije samo u proizvodnji, već počinje sa projektovanjem novog proizvoda, s obzirom da se često radi o nestandardnim proizvodima za čije se projektovanje nekada ne mogu koristiti informacije i znanja koja su stečena na prethodnim proizvodima, pa proces projektovanja može dugo da traje. Problem u toku informacija se, pre svega, ogleda u nedovoljnom deljenju informacija između organizacionih delova kompanije. Čest je slučaj da različite funkcije nisu uključene u različitim fazama proizvodnje. Granice između funkcija su jake, što kao rezultat ima da unapređenja sprovode samo u okviru pojedinih funkcija, što često kao rezultat ima pod-optimizaciju lanca vrednosti u celini (Deflorin & Scherrer-Rathje, 2012). Jasno je da kompanije koje posluju u nerepetitivnom proizvodnom okruženju akcenat stavljaju na pojedine funkcije umesto na proces u celini, što otežava komunikaciju i otežava zajednički rad na postizanju cilja, a to je zadovoljenje potreba korisnika (Radovic et al., 2009). Pored toga, posledica je i nemogućnost da se lanac vrednosti (eksterni i interni aspekt) sagleda i analizira u celini (Portioli-Staudacher & Tantardini, 2012b).

Jina et al. (1997) ističu da se kompanije koje posluju u nereprtitivnom okruženju često pitaju kako bi lin pristup mogao biti relevantan za njih? Olhager & Prajogo (2012) navode da kompanijama koje proizvode po porudžbini proces proizvodnje retko daje konkurentsku prednost, i da su elementi koji obezbeđuju dobijanje posla najčešće kratko protočno vreme i pouzdanost isporuke. Takve kompanije mogu raspolagati viškom kapaciteta, što ih može učiniti nezainteresovanim za lin (Olhager & Prajogo, 2012). Ljudski resursi takođe mogu predstavljati prepreku implementaciji lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Neke problemi u primeni lin pristupa, koji su vezani za ljudske resurse, imaju svoje objektivne uzroke. Tako Muda & Hendry (2002a) navode da nepostojanje repeticije znatno otežava obuku ljudi, odnosno uspostavljanje baze znanja koja bi trebala da omogući kontinualno unapređivanje proizvodnje. Nerepetitivna proizvodnja često ima karakteristike zanatske proizvodnje, gde uspeh u velikoj meri zavisi od napora pojedinaca. Zbog toga je česta pojava nediscipline u ovakvim proizvodnim sistemima, kao i nedostatak motiva za eliminisanje grešaka (Lander & Liker, 2007). Ovakav način organizovanja proizvodnje često podrazumeva da radnici poseduju širok spektar znanja, i postoji bojazan da će se tokom implementacije lin pristupa određeni deo tih znanja izgubiti zbog standardizacije (Deflorin & Scherrer-Rathje, 2012). Djassemi (2014) tvrdi da kompanije koje proizvode po porudžbini najčešće svoj život počinju kao male kompanije, koje su u tom trenutku vrlo bliske lin principima, s obzirom da njihovu srž čini ili sam preduzetnik, ili mala grupa ljudi koji su tesno povezani. U ovoj fazi životnog ciklusa kompanije, resursi i vreme su ograničeni, i kompanija se odlučuje da razvija manji broj procesa, kao i da zalihe drži na minimumu, što je u skladu sa lin principima (Djassemi, 2014). Kako kompanija raste, poslovanje se usložnjava, i lin principi na kojima je kompanija počivala (najčešće nesvesno) se sve više napuštaju, i od kompaktne celine kakva je bila na početku životnog ciklusa se dolazi do strukture koja podseća na skup delova koji su u određenoj meri nezavisni jedni od drugih. U toj fazi, novac se ulaže u druge stvari koje se smatraju prioritetima, a s obzirom na broj ljudi koji čine malu ili srednju kompaniju (a najveći broj kompanija koje posluju po principu proizvodnje po porudžbini su upravo male i srednje kompanije) teško je izdvojiti jednu osobu koja će biti lider primene lin pristupa u kompaniji (Djassemi, 2014).

Značajan broj problema u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je vezan za same karakteristike lin pristupa, odnosno za okruženje u kojem je lin pristup nastao, i u pokušajima da se lin pristup, pod pretpostavkama koje važe za repetitivne proizvodne sisteme, implementira i u repetitivnim proizvodnim sistemima. Powell et al. (2014) tako kritikuju samu osnovu lin pristupa, odnosno pet principa koji opisuju temelje lin pristupa, tvrdeći da je takav način definisanja lin pristupa neadekvatan za primenu u proizvodnom sistemu koji posluje po principu projektovanja po porudžbini, s obzirom da nije dovoljno instruktivan. Muda & Hendry (2002a) postojeće modele poslovne izvrsnosti, s obzirom da polaze od pretpostavki koje su teško primenljive u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, kao što su postojanje određenog nivoa repeticije u proizvodnji, postojanje familija proizvoda i mogućnosti da se određenoj familiji dodeli poseban skup proizvodnih resursa, kao i da se za određene familije proizvoda formiraju posebni timovi zaposlenih. Poseban problem predstavlja i to što se često preuzima praksa velikih kompanija, i što se kod ocene uspešnosti primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima najčešće koriste indikatori performansi koji su karakteristični za repetitivnu proizvodnju i velike kompanije (Hendry, 1998; Muda & Hendry, 2002a; Djassemi, 2014). Problem u istraživanju primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima predstavlja i to što ne postoji jasna razgraničenje šta se sve smatra nerepetitivnom proizvodnjom i koje su karakteristike takvog vida proizvodnje, kao i nepostojanje jedinstvene definicije lin pristupa koja neće bit usko vezana uz karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema (Jina et al., 1997; White & Prybutok, 2001). Portioli-Staudacher & Tantardini (2012b) navode da je jedno od najznačajnijih otvorenih pitanja u izučavanju primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima upravo izrada nove (univerzalne?) tipologije nerepetitivnih proizvodnih sistema, koja bi precizno definisala kontekst primene. Značajno je napomenuti da se u istraživanju primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima koriste isti konstrukti kao i kod repetitivnih proizvodnih sistema, pa se tako u analizi veza između lin prakse i stepena repetitivnosti proizvodnje koriste elementi kao što su grupna tehnologija i Kanban, iako je jasno da ti aspekti lin pristupa nisu u potpunosti primenjivi (ili nisu primenjivi uopšte, prema tvrdnji nekih autora) u nerepetitivnim proizvodnim sistemima (videti, na primer, White & Prybutok, 2001). Ovakav način analize može dovesti do pogrešnih zaključaka, na primer da sistem

vučenja nije primenjiv u nerepetitivnim proizvodnim sistemima zato što nije moguće koristiti Kanban. Često se samim kompanijama ostavlja prostora da same procene da li je njihova proizvodnja repetitivna ili nerepetitivna, a u istraživanju učestvuju kompanije koje imaju više od 100 zaposlenih, što dovodi do izostavljanja značajnog dela populacije kompanija čije je proizvodnja nerepetitivna, a to su male kompanije (videti, na primer, Bartolotti et al., 2013). Portioli-Staudacher & Tantardini (2012b) još navode da istraživanje primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima nije ravnomerno raspoređeno, s obzirom da se najviše pažnje posvećuje organizovanju toka materijala kroz proizvodnju (odnosno primenu sistema vučenja i raspoređivanja poslova), dok su drugim aspektima lin pristupa, kao što je na primer eliminisanje rasipanja, poklanja manje pažnje.

3.4.2 Ponuđena rešenja za identifikovane probleme u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

U grupu radova koji nude rešenja za identifikovane probleme u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima su uvršteni radovi koji iznose predloge kako bi lin pristup mogao da se implementira u okruženju koje je značajno drugačije od onog u kojem je lin pristup izvorno nastao. Rešenja se nude za probleme koje je neko drugi identifikovao, ili su ih u istom radu sami autori identifikovali. Dakle, u ovoj grupi su se našli i neki radovi iz prethodne grupe.

U svojoj analizi literature, Portioli-Staudacher & Tantardini (2012b) navode da istraživanje lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima nije ravnomerno raspoređeno, i da dominiraju radovi koji obrađuju kontrolu materijala u proizvodnji (princip vučenja, formiranje proizvodnih ćelija, primena Kanbana i slično). Rezultati ovog istraživanja potvrđuju ovaj stav, s obzirom da se najveći broj radova delimično ili u potpunosti bavi određenim aspektima kontrole toka materijala u proizvodnji. Ovi radovi se grubo mogu podeliti u dve grupe. U prvu grupu spadaju radovi koji se bave tradicionalnim elementima lin proizvodnje, kao što su ćelijska proizvodnja i upotreba Kanban kartica, i načinima na koje se ti elementi mogu prilagoditi nerepetitivnom okruženju (videti, na primer, Stockton & Lindley, 1995; Jina et al., 1997; Storch & Lim, 1999; Li, 2003; Lander & Liker, 2007; Guan et al., 2008; Matt, 2014). Drugu grupu čine radovi koji nude alternativne pristupe obezbeđivanju toka materijala u proizvodnji,

oslanjajući se na poznate principe lin proizvodnje kao što su sistem vučenja (*pull*) i uravnoteženja proizvodnje (*heijunka*) (videti, na primer, Hendry, 1998; Muda & Hendry, 2002a; Li, 2003; Braglia et al., 2006; Guan et al., 2008; Slomp et al., 2009; Bokhorst & Slomp, 2010; Stumo & Badurdeen, 2012; Portioli-Staudacher & Tantardini, 2012a; Thürer et al., 2012; Thürer et al., 2014).

Mogućnosti primene ćelijske proizvodnje u nerepetitivnom okruženju su vrlo ograničene, s obzirom da je klasičan način formiranja ćelija (korišćenje grupne tehnologije za proizvodnju sličnih proizvoda) teško primenjiv. Stockton & Lindley (1995) predlažu nov (modifikovan) način formiranja ćelija na osnovu redosleda operacija, gde svaka ćelija predstavlja korak u redosledu operacija za sve komponente koje se obrađuju u posmatranoj ćeliji. Autori navode da bi ovakav način organizovanja proizvodnje omogućio i korišćenje Kanban kartica za kontrolu toka materijala, tako što će se smanjiti broj mogućih putanja kojim proizvodi mogu da se kreću, a samim tim će kretanje proizvoda u proizvodnji postati vidljivije. Kanban bi kontrolisao kada proizvodi mogu da se kreću između ćelija, ograničavajući broj kontejnera između dve ćelije, smanjujući tako veličinu zaliha nedovršene proizvodnje. Problem kod ovakvog načina organizovanja proizvodnje je što se može desiti da je isti tip resursa neophodno alocirati u nekoliko različitih ćelija. Autori predlažu dva načina da se ovo reši. Prvi je kupovina dodatnih resursa, ukoliko su postojeći kapaciteti mali, ili povećavanje mobilnosti postojećih resursa, ukoliko postoji višak kapaciteta na tim resursima, gde će se isti resurs koristiti u više ćelija. Nabavka novih resursa može biti trošak koji je prevelik za kompanije koje posluju u nerepetitivnom proizvodnom okruženju, s obzirom da se najčešće radi kompanijama sa ograničenim finansijskim resursima (Gargeya & Thompson, 1994; Djassemi, 2014). Pored toga, nije uvek moguće povećati mobilnost mašina, s obzirom da je često njihova pozicija ograničena nekim objektivnim parametrima, kao što je pozicija instalacija za napajanje električnom energijom, fluidima ili komprimovanim gasom. Dalje, može da se desi da postoji istovremena tražnja za istim resursom u više ćelija, što bi praktično zaustavilo proizvodnju u svim ćelijama osim jedne, a postavlja se i pitanje prioritizacije korišćenja resursa. Autori ne navode da li bi u ovakvim ćelijama bio organizovan jednokomadni tok ili ne (što je jedna od osnovnih karakteristika ćelijske proizvodnje). Jina et al. (1997), Storch & Lim (1999) i Lander & Liker (2007) takođe predlažu načine da se u nerepetitivnim

proizvodnim sistemima iskoriste prednosti grupne tehnologije i proizvodnih ćelija. Jina et al. (1997) predlaže podelu proizvoda koje kompanija proizvodi na „trkače“, „ponavljače“ i „strance“, gde trkači predstavljaju mahom standardne proizvode koji imaju stabilnu i relativno veliku tražnju, stranci predstavljaju proizvode koji se povremeno traže i čije karakteristike variraju od porudžbine do porudžbine, i na koje otpada mali procenat ukupnog obima proizvodnje (ali veliki deo asortimana proizvoda), dok su ponavljači proizvodi koji su po karakteristikama između navedenih kategorija. Sličnu logiku koriste i Lander & Liker (2007), koji proizvode dele na one koji se proizvode za skladište (slično trkačima) i one koji se proizvode po porudžbini (slično strancima). Jina et al. (1997) tvrde da oko 80% ukupnog obima proizvodnje čine trkači, i da bi njima, makar privremeno, trebalo dodeliti posebne resurse. Proizvodnja trkača, odnosno proizvoda koji se proizvode za skladište, bi se onda mogla kontrolisati upotrebom Kanban kartica (Jina et al., 1997; Lander & Liker, 2007). Što se stranaca tiče, predlaže se ukupnjavanje zahteva za njihovom proizvodnjom, gde bi se koristili resursi koji su dodeljeni trkačima, ili organizovanje posebne radionice koja bi bila namenjena samo za proizvodnju stranaca. Treća strategija bi mogla biti podugovaranje proizvoda koji su stranci. Lander & Liker (2007) predlažu korišćenje MTO (*make-to-order*) kartica za kontrolu toka materijala kod proizvodnje proizvoda koji se izrađuju prema porudžbini, uz ograničavanje ukupne količine posla koja se može naći u radionici, mada funkcija ovih kartica nije potpuno jasna. Ponavljači su najzahtevnija kategorija, i Jina et al. (1997) predlažu da se izvrši njihova reklasifikacija, i da se takvi proizvodi prebace u grupu trkača ili stranaca, a da se njihova proizvodnja organizuje na neki od načina koji je predstavljen u tekstu. Problem nastaje kod same klasifikacije proizvoda. Naime, Jina et al. (1997) tvrde da stranci čine samo oko 5% ukupnog obima proizvodnje kompanije, što znači da se većina proizvoda (po obimu, ne po asortimanu) može svrstati u neku familiju, za koju se može organizovati ćelijska proizvodnja. Međutim, Hendry (1998) navodi da je čest slučaj da je procentualno učešće stranaca u kompanijama koje proizvode po porudžbini znatno veće, te da u tim slučajevima nije racionalno organizovati ćelijsku proizvodnju. Muda & Hendry (2002a) navode da je prelazak na ćelijsku proizvodnju poželjan ukoliko je to moguće, ali i da je čest slučaj u kojem je strateška odluka kompanije da zadrži radionički način proizvodnje za veći deo asortimana (često i za ceo asortiman), s obzirom da im on pruža efikasnost i

fleksibilnost koje im obezbeđuju konkurentsku prednost (Hendry, 1998; Muda & Hendry, 2002a). Slična zamerka se može uputiti i rešenju koje predstavljaju Storch & Lim (1999), s obzirom da ono pretpostavlja da je moguće identifikovati slične proizvode u cilju formiranja proizvodnih ćelija. Matt (2014) predlaže da se mašine sa fluktuirajućim opterećenjem kombinuju u zasebnu radionicu koju bi opsluživala fleksibilna radna snaga, što se može posmatrati kao određeni vid ćelijske proizvodnje.

Grupna tehnologija, ćelijska proizvodnja i Kanban predstavljaju rešenja koja su teško primenjiva u nerepetitivnim proizvodnim sistemima s obzirom da polaze od pretpostavki koje ne predstavljaju prepoznatljive karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema, odnosno proizvodnje po porudžbini (Muda & Hendry, 2002a). Zbog ovoga je vrlo teško uspostaviti kontinuirani i uravnoteženi tok u proizvodnji, što je jedna od osnovnih karakteristika lin proizvodnje. Zato se mnogi autori okreću alternativnim pristupima koji mogu obezbediti poštovanje principa lin proizvodnje. Stump & Badurdeen (2012) smatraju da je najveći problem implementirati sistem vučenja u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, dok su ostali elementi lin proizvodnje, uz manje modifikacije, jednako primenjivi kao u repetitivnim proizvodnim sistemima. Stump & Badurdeen (2012) kao rešenje predlažu CONWIP sistem za uspostavljanje sistema vučenja proizvodnje, dok za druga rešenja smatraju da su neprimenjiva, ili čak nepotrebna u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. CONWIP je sistem koji je privukao mnogo pažnje od momenta kada je predstavljen, pre svega zato što je mnogo robustniji u primeni od Kanbana i zato što je jednostavan za upotrebu (Spearman et al., 1990). CONWIP dozvoljava puštanje novog posla u proizvodnju samo onda kada neki od poslova napuste proces proizvodnje, održavajući broj poslova koji se u svakom momentu nalaze u proizvodnji konstantnim, i koristi kartice za kontrolu proizvodnje, slično Kanbanu. Razlika je u tome što su Kanban kartice vezane za specifični deo i kontrolišu kretanje materijala samo kroz jednu fazu proizvodnje (u narednoj fazi se za određeni deo vezuje druga kartica), dok se kartice u CONWIP sistemu vezuju za određenu porudžbinu koju prate kroz čitav proces proizvodnje. Puštanje novog posla u proizvodnju je moguće samo ukoliko postoji slobodna kartica. Slomp et al. (2009) i Bokhorst & Slomp (2010) predlažu fazno uvođenje lin sistema za kontrolu proizvodnje u kompaniji koja proizvodi širok asortiman različitih proizvoda u malim obimima. Prva faza uključuje uvođenje CONWIP sistema, i osnovni zadatak je da se poveća vidljivost

proizvodnje tako što će se ograničiti nivo zaliha nedovršene proizvodnje. U naredne dve faze, autori predlažu uvođenje FIFO principa u kontrolu toka materijala, kao i definisanje tempa proizvodnje, odnosno takta. Za razliku od tradicionalnih montažnih linija, kod kojih takt definiše tempo kretanja proizvoda kako bi se zadovoljila dnevna tražnja, autori predlažu modifikaciju koja čitavu proizvodnju posmatra kao jedinstvenu celinu, gde takt definiše momenat ulaska posla u, odnosno izlaska posla iz proizvodnje. Takt bi se računao na nivou čitave radionice za sve proizvode, tako što bi se ukupna količina posla podelila sa brojem radnika. Modifikovan je i CONWIP koncept, s obzirom da takt kontroliše vreme ulaska posla u proizvodnju, dok je kod tradicionalnog CONWIP sistema ulazak novog posla u proizvodnju moguć čim se oslobodi kartica. Predloženo rešenje može biti problematično na dva načina: sa aspekta uravnoteženja proizvodnje primenom CONWIP sistema, i sa aspekta proračuna takta. Naime, CONWIP, po svojoj definiciji, ograničava nivo zaliha nedovršene proizvodnje tako što ograničava broj poslova u radionici. Međutim, CONWIP ne vodi računa o veličini posla, odnosno o vremenu koje je potrebno za završetak određenog posla. Na primer, s obzirom na prirodu nerepetitivne proizvodnje, jedan posao može sadržati deset komada koje treba obraditi, dok drugi posao može sadržati stotine komada koje treba obraditi. Sam broj komada u jednoj porudžbini ne mora biti adekvatan kriterijum razvrstavanja poslova po veličini, s obzirom da jedan komad kod jednog posla može zahtevati znatno veće vreme obrade od jednog komada kod drugog posla. U slučaju da iz proizvodnje izađe „mali“ posao, a uđe „veliki“ može doći do značajnog disbalansa opterećenja radnih stanica u proizvodnji. To praktično znači da obrada „velikog“ posla može dovesti do situacije u kojoj neke radne stanice „gladuju“ zato što ne mogu da prime novi posao, s obzirom da „veliki“ posao još nije napustio radionicu. Problem sa taktom ima sličan uzrok, a to su varijacije koje su inherentne nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Fluktuacije u veličini posla, vremenu dolaska posla i vremenima obrade kod svakog posla mogu dovesti do toga da dobijeni takt (koji se izračunava kao količnik raspoloživog vremena za proizvodnju i trenutne tražnje) brzo postane irelevantan. Lander & Liker (2007) predlažu izračunavanje takta prema prosečnoj tražnji, uz ažuriranje u vremenu, na primer jednom u mesecu. Ukoliko se prihvati ovakav način izračunavanja takta, korisno bi bilo ažuriranja raditi češće, u skladu sa frekvencijom novih poslova koji pristižu, recimo jednom nedeljno ili čak dnevno. I ovakav način

proračuna takta može biti problematičan, s obzirom da prosečan takt može biti irelevantan za pojedine poslove, s obzirom da za svaki posao može da se razlikuje tražnja, kao i ukupna količina rada koju posao nosi.

Hendry (1998) navodi da je pojednostavljenje radionice jedan od osnovnih principa pravovremene proizvodnje, ali da se često zanemaruje u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Autor navodi da je jedan od osnovnih zadataka u primeni lin pristupa povećavanje vidljivosti proizvodnje. Kako je organizovanje ćelijske proizvodnje i korišćenje Kanbana u nerepetitivnim proizvodnim sistemima otežano (nekada i nepoželjno, ukoliko se želi zadržati visok nivo fleksibilnosti koji je karakterističan za nerepetitivnu proizvodnju), Hendry (1998) predlaže upotrebu kontrole opterećenja (*eng. Workload Control – WLC*). Kontrola opterećenja je koncept koji je nastao imajući u vidu upravo zahteve nerepetitivne proizvodnje, odnosno proizvodnje po porudžbini. Kontrola opterećenja posmatra radionicu kao red čekanja, gde poslovi pristižu u redove čekanja koji se nalaze ispred svakog radnog centra. Glavni cilj kontrole opterećenja je da te redove održava kratkim i stabilnim, čineći tako radionicu transparentnom. Ključna komponenta sistema je odluka o puštanju posla, kojom se dozvoljava da posao „uđe“ u samu radionicu, u kojoj ostaje sve dok se poslednja operacija ne izvrši na tom poslu. Osnovna ideja je da se spreči puštanje poslova koji bi prolazili kroz radne stanice koje su preopterećene u radionicu, zadržavajući ih u takozvanom skupu (*eng. pool*) poslova koji čekaju da budu pušteni. Posao može čekati do trenutka do kojeg nije ugrožena preciznost isporuke korisniku. Dok god je posao u skupu poslova koji čekaju, lakše je na njemu vršiti određene promene, kao što su promene u količini proizvoda ili u dizajnu (za više informacija o kontroli opterećenja, videti Kingsman et al., 1989; Kingsman, 2000; Thürer et al., 2011). Thürer et al. (2012) ističu da skup poslova odvaja proizvodnju od tražnje, kompenzujući fluktuacije koje se javljaju u tražnji. Odabir poslova iz skupa koji se mogu pustiti u proizvodnju ima ulogu u uravnoteženju proizvodnje koja je slična *heijunki* u tradicionalnoj lin proizvodnji. Naime, u proizvodnji se puštaju poslovi vodeći računa o trenutnoj opterećenosti radnih centara. To znači da posao neće biti pušten u proizvodnju ukoliko bi opterećenje na bilo kom radnom centru koji se nalazi na putanji tog posla prešlo neku unapred definisanu gornju granicu. Granica se određuje empirijski, odnosno smanjuje se dok god to ne ugrožava tok materijala kroz proizvodnju. Kontrola opterećenja sprečava puštanje

poslova u proizvodnji koji bi mogli preopteretiti neki od proizvodnih resursa, odnosno koji bi doprineli da se prekorači granica opterećenja koje je unapred definisana. Na ovaj način se ograničava nivo zaliha nedovršene proizvodnje, odnosno uspostavlja sistem vučenja na način koji su definisali Hopp & Spearman (2004). Thüerer et al. (2012) navode da se na ovaj način uspostavlja kontrola (odnosno smanjuju troškovi) nad jednim od bafera koji služi za kompenzovanje varijacija u proizvodnji, odnosno na baferom zaliha. Primenom kontrole opterećenja se protočna vremena skraćuju i čine predvidljivim, dok skup poslova štiti proizvodnju od eksternih varijacija. Kontrola opterećenja razmatra puštanje poslova u proizvodnju periodično (u unapred definisanim vremenskim intervalima, na primer jednom nedeljno ili jednom dnevno) ili kontinualno (svaki put kada neka od radnih stanica počne da „gladuje“, čak i po cenu da puštanje novog posla probije granice opterećenja na nekim resursima). Thüerer et al. (2012) su u svom radu kroz simulaciju uporedili kontrolu opterećenja i CONWIP, gde je kontrola opterećenja pokazala bolje rezultate. Postoje dva razloga zbog kojih bi kontrola opterećenja mogla biti bolja od CONWIP-a. Prvi je taj što kontrola opterećenja ne uzima u obzir broj poslova, već količinu posla izražava u satima obrade. Na taj način se vodi računa o tome koliko će opterećenju doprineti svaki posao koji se razmatra za puštanje, odnosno vodi se računa o uravnoteženosti opterećenja u radionici. Druga prednost kontrole opterećenja je u kontinualnom puštanju poslova, koje sprečava situacije u kojima neki od radnih centara „gladuje“. Thüerer et al. (2014) u kontrolu opterećenja uključuju i upravljanje upitima korisnika, stvarajući sistem koji integriše proizvodnju i prodaju. Kroz uključivanje upravljanja upitima korisnika se ostvaruje kontrola nad preostala dva bafera, odnosno nad vremenom i kapacitetima. Kontrola vremena se ostvaruje kroz definisanje rokova isporuke, a imajući u vidu opterećenje proizvodnje, dok se kontrola kapaciteta ostvaruje planiranjem kapaciteta u vremenu, odnosno prihvatanjem ili odbijanjem pojedinih poslova. Thüerer et al. (2012) i Thüerer et al. (2014) tvrde da je sistem kontrole opterećenja jednostavan za razumevanje i primenu, i da je pogodan za uspostavljanje lin proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima kroz efikasnu kontrolu sva tri bafera (zalihe, vreme i kapaciteti). Portioli-Staudacher & Tantardini (2012a) predlažu dalje uprošćavanje kontrole opterećenja, tako što se se umesto individualnih normi koristiti kumulativna norma za celu radionicu. Puštanje poslova u proizvodnju je moguće dok god nije probijena

kumulativna norma, dok se pojedinačne norme radnih centara mogu probiti. Ovakav način bi trebalo da smanji potrebu za konstantnim izveštavanjem iz radionice, s obzirom da je neophodno obezbediti informacije samo u trenutku kada završeni posao napusti radionicu. U tom smislu, može se primetiti izvesna sličnost sa CONWIP sistemom. Problem može biti što se ne vodi računa o pojedinačnoj opterećenosti radnih centara, pa može doći do situacije da određeni radni centar „gladuje“ dok je drugi preopterećen. Problem sa kontrolom opterećenja je taj što je u najvećoj meri razvijana kroz simulaciju, dok su primeri njene praktične primene retki (Thürer et al., 2011; Tomašević et al., 2013).

Teorija ograničenja, odnosno doboš-kompenzator-uže (*eng. Drum-Buffer-Rope – DBR*) sistem kontrole toka materijala, se takođe nameću kao alternativa Kanbanu (videti, na primer, Goldratt & Cox, 1984). Teorija ograničenja je menadžment paradigma koja smatra da je ostvarenje ciljeva u svakom poslovnom sistemu limitirano postojanjem malog broja ograničenja, koja najčešće predstavljaju uska grla u proizvodnji. Cilj je maksimalno iskoristiti uska grla, tako što će se kontrola proizvodnje uspostaviti upravo na njima, kroz DBR sistem. DBR sistem kontrole toka materijala se takođe može smatrati sistemom vučenja proizvodnje. Guan et al. (2008) upravo predlažu upotrebu DBR sistema za kontrolu proizvodnje, s obzirom da smatraju da više odgovara dinamičkom okruženju nerepetitivnih proizvodnih sistema, i da ovaj sistem pokazuje bolje rezultate od CONWIP-a i Kanbana. DBR, kao alternativno rešenje za implementaciju sistema vučenja proizvodnje, bi se primenjivao u kombinaciji sa revizijom i puštanjem porudžbina (*eng. Order Review and Release – ORR*), koja bi imala zadatak da, slično kontroli opterećenja, uparuje tražnju sa raspoloživim kapacitetima, grupiše slične poslove i definiše putanje proizvoda kroz radionicu. Upotrebom ovakvog rešenja bi moglo da se ostvari smanjenje nivoa zaliha nedovršene proizvodnje, poboljšanje protoka kroz radionicu i skraćanje protočnog vremena (Guan et al., 2008). Ono što može da bude problematično je pojava takozvanih lutajućih uskih grla, kao i teškoće koje se mogu javiti u definisanju parametara sistema, kao što je veličina kompenzatora (videti, na primer, Adams et al., 1988; Schragenheim & Ronen, 1990; Lawrence & Buss, 1994).

Storch & Lim (1999) smatraju da je uravnoteženje posla jedan od ključnih zadataka lin pristupa. Autor smatra da je uravnoteženje potrebno postići ne samo u proizvodnji, već i u marketingu i prodaji, kako bi se obezbedio uniformni tok poslova. Ovakav način posmatranja poslovnog sistema je u skladu sa procesnim pristupom i idejom da sve organizacione jedinice treba da rade na ostvarenju zajedničkog cilja, a to je zadovoljenje potreba korisnika. Deflorin & Scherrer-Rathje (2012) smatraju da zapravo postoji samo jedan ključni proces, a to je zadovoljenje potreba korisnika, dok svi ostali procesi predstavljaju podršku ključnom procesu. Thüerer et al (2014) takođe smatraju da je integracija marketinga i proizvodnje značajna za uspostavljanje uravnoteženog toka proizvodnje, i da olakšava planiranje korišćenja raspoloživih resursa. Autori navode da definisanje rokova isporuke u marketingu služi kao svojevrsna zaštita proizvodnje od fluktuacija na tržištu, s obzirom da duži rokovi isporuke (usled opterećenosti radionice) ili više cene proizvoda (usled dodatnog angažovanja resursa zbog opterećenosti radionice) utiču na smanjenje tražnje, što kao posledicu ima rasterećenje resursa, a moguć je i gubitak prihoda. Muda & Hendry (2002a) predlažu da integracija marketinga i proizvodnje uđe u novi model proizvodnje svetske klase koji bi bio prilagođen karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema. Pored toga, autori iznose i značaj planiranja i poboljšavanja toka informacija za uravnoteženje opterećenja. Lenart & Nof (1997) daju predlog novog objektno informisanog informacionog sistema, koji bi trebalo da integriše tok materijala i tok informacija. Autori navode da bi implementacija novog informacionog sistema morala biti praćena nabavkom nove opreme, koja bi, između ostalog, omogućavala bržu izmenu alata i viši kvalitet proizvoda. Muda & Hendry (2002a; 2002b; 2003) takođe ističu značaj unapređenja toka informacija u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, i smatraju da bi se to moglo uraditi primenom odgovarajućih softverskih paketa. Pored toga, inicijalni model je podrazumevao i primenu kompjuterizovanog sistema za raspoređivanje proizvodnje i kontrolu opterećenja (Muda & Hendry, 2002a). Međutim, prilikom verifikacije modela, koja je obavljena u kompaniji koja proizvodi po porudžbini, na osnovu intervjua sa zaposlenima (menadžmentom i izvršiocima) je zaključeno da korišćenje kompjuterizovanih sistema nije neophodno, dok god je broj porudžbina kojima se barata ograničen (Muda & Hendry, 2002a; 2002b). Nerepetitivni proizvodni sistemi su najčešće male ili srednje kompanije, koje raspolažu ograničenim finansijskim,

tehnološkim i ljudskim resursima, i preferiraju rešenja koja su jednostavna, praktična i laka za primenu, pa se može reći da je i to jedan od razloga zbog kojih postoji otpor primeni savremenih računarski podržanih sistema (Muda & Hendry, 2002b). Kao drugi razlog bi se mogla identifikovati nemogućnost dugoročnog planiranja, s obzirom na nestabilnu tražnju. Muda & Hendry (2002a) ističu značaj planiranja za postizanje statusa proizvođača svetske klase. Prilikom verifikacije modela, stav kompanija koje su učestvovala u istraživanju nije bio konzistentan. Naime, u jednoj kompaniji su tvrdili da nepredvidljiva priroda poslovanja čini dugoročno strateško i operativno planiranje besmislenim, dok su u drugim kompanijama pronađeni određeni dokazi efektivnog dugoročnog planiranja (Muda & Hendry, 2002b).

Li (2003) smatra da primena sistema vučenja u radioničkoj proizvodnji ima veliki potencijal, ali da je neophodno da uspostavljanje sistema vučenja bude podržano drugim aspektima obezbeđenja kontinuiranog toka, konkretno jednokomadnim tokom i ćelijskom proizvodnjom. Ipak, autor ne iznosi detalje kako bi se mogli implementirati jednokomadni tok i ćelijska proizvodnja, pa samim tim ni sistem vučenja proizvodnje. Problemi formiranja ćelija i uspostavljanja tradicionalnog sistema vučenja proizvodnje su analizirani ranije u tekstu. Braglia et al. (2006) smatraju da je unapređenje toka proizvodnje moguće integracijom mapiranja toka vrednosti (*eng. Value Stream Mapping – VSM*) i drugih alata industrijskog inženjerstva. Autori smatraju da je neophodno identifikovati kritični put korišćenjem temporizovanih sastavnica, koje osim podataka o operacijama koje treba izvesti na određenom proizvodu sadrže i vremena trajanja tih operacija. Kritičan put treba analizirati imajući u vidu preklapanja sa drugim putanjama, i uzimajući ih kao ograničenja. Zatim treba unaprediti tok tako da taj put prestane da bude kritičan, i postupak ponavljati dok se ne dostigne željeni nivo zaliha nedovršene proizvodnje. U svom predlogu unapređenja toka nerepetitivne proizvodnje, Matt (2014) polazi od tačaka sinhronizacije putanja različitih proizvoda, u kojima predlaže formiranje supermarket, sličnih onima koji se koriste kod Kanbana. Pored toga, autor smatra da je za uspostavljanje neometanog toka u proizvodnji neophodno izbegavati ukrštanja tokova materijala (kada je to moguće), kao i skladištenje bilo čega što nije u tom trenutku neophodno za proizvodnju u zoni obrade i montaže. Autor još predlaže deljenje velikih porudžbina u manje partije, koje bi se ravnomerno puštale u proizvodnju.

Ono što je od strane nekoliko autora primećeno kao problem u primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je otežanost integracije proizvođača sa dobavljačima. Jina et al. (1997) bi u integraciji sa dobavljačima trebalo krenuti već od projektovanja proizvoda, gde bi se insistiralo na standardizovanju materijala koji se koriste, kao i na standardizaciji podsklopova koji čine proizvode i na modularizaciji proizvoda. Pored toga, autori predlažu i analizu redundantnosti delova i podsklopova koji se koriste u proizvodnji, kao i kupiti-ili-nabaviti analizu, gde bi se videlo koje delove je moguće proizvesti u samoj kompaniji (Jina et al., 1997). Sa druge strane, Hendry (1998) ocenjuje da promene u dizajnu proizvoda imaju ograničen uticaj na unapređenje efikasnosti proizvodnje, dok Muda & Hendry (2002a; 2002b), kritikujući model proizvodnje svetske klase koji je predstavio Schonberger (1986; 1996), smatraju da smanjenje broja komponenti i smanjenje broja dobavljača nisu relevantni za nerepetitivne proizvodne sisteme koliko i za repetitivne proizvodne sisteme, te da ih iz modela proizvodnje svetske klase za nerepetitivnu proizvodnju treba izbaciti.

Iako je obezbeđivanje konzistentnosti kvaliteta izlaza prepoznato kao problematično, samo Lander & Liker (2007) nude rešenje u tom domenu. Autori smatraju da je jedna od glavnih prepreka to što se problemi najčešće mogu detektovati tek u završnoj kontroli. Autori predlažu uvođenje fazne kontrole u samom procesu gde god je to moguće. Finalna kontrola bi i dalje ostao dominantan metod otkrivanja defekata u proizvodnji, ali bi se razvijao mehanizam za otkrivanje i rešavanje uzroka problema koji su otkriveni u završnoj kontroli, istog momenta kada se u završnoj kontroli otkrije problem. I druga predložena rešenja mogu imati posredan uticaj na unapređenje kvaliteta. Pretpostavka je da će se smanjenjem nivoa zaliha nedovršene proizvodnje povećati vidljivost toka proizvodnje, što bi trebalo da poveća mogućnost da se problemi otkriju u ranijim fazama realizacije proizvoda.

Nekoliko autora nudi konceptualna rešenja za primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima u vidu nove strategije primene, novog skupa principa ili modela. Muda & Hendry (2002a; 2002b; 2003) predstavljaju nov model proizvodnje svetske klase, koji predstavlja svjevrnsnu kritiku modelu koji je predstavio Schonberger (1986; 1996), a koji je razvijen imajući u vidu specifičnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema. Autori su do novog modela došli deduktivnom metodom, analizirajući

inicijalni model koji je predstavio Schonberger, kao i drugu relevantnu literaturu iz oblasti. Na osnovu analize je izvršena modifikacija modela koji daje Schnoberger, tako što su neki elementi originalnog modela izbačeni, neki elementi su prilagođeni specifičnostima nerepetitivnih proizvodnih sistema, dok su neki elementi, koji su identifikovani u relevantnoj literaturi, dodati. Model je verifikovan u nekoliko iteracija, tako što je njegova relevantnost proveravana u kompanijama koje se po karakteristikama mogu svrstati u nerepetitivne proizvodne sisteme (Muda & Hendry, 2002b; Muda & Hendry, 2003). Model je nakon svake iteracije unapređivan, na osnovu informacija dobijenih od kompanija. Djassemi (2014) nudi novu strategiju implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, koja se sastoji iz tri faze: (i) obuka; (ii) Kaizen događaj; (iii) implementacija. Faza obuke obuhvata formiranje timova koje bi činili predstavnici različitih delova proizvodnje, čijim članovima bi bili prezentirani lin alati. U realizaciju bi bili uključeni i eksterni konsultanti, koji bi u fazi Kaizen događaja vodili timove u identifikacija prilika za poboljšanje. Iz skupa problema bi se prvo birao onaj čijim bi rešavanjem bilo moguće brzo vratiti novac uloženi u projekat poboljšanja, kako bi se ohrabрили dalji naponi u poboljšavanju. U fazi implementacije bi se izrađivao predlog akcionog plana za rešavanje problema identifikovanog u prethodnoj fazi. Cilj je da se definiše problem, da se identifikuju uzroci problema, da se identifikuju protiv-mere, i da se predloži strategija implementacije protiv-mera. U ovoj fazi se definišu i mere performansi, vrši se inicijalno merenje, kao i merenje nakon realizacije projekta, a dobijeni rezultati se upoređuju. Konačno, Powell et al. (2014) nude novi skup lin principa, koji je prilagođen kompanijama koje projektuju i proizvode po porudžbini. Skup principa je razvijen kroz analizu evolucije lin principa, i prilagođen specifičnostima nerepetitivnih proizvodnih sistema. Powell et al. (2014) ističu sledeće principe: (1) definisanje vrednosti za sve zainteresovane strane; (2) vođstvo, ljudi i učenje; (3) fleksibilnost; (4) modularizacija; (5) kontinualni tok procesa; (6) vučenje proizvodnje prema tražnji; (7) integracija sistema i integracija sa zainteresovanim stranama; (8) transparentnost; (9) tehnologija; i (10) kontinualno poboljšavanje. Autori smatraju da je zbog projektne prirode posla vrednost neophodno definisati imajući u vidu potrebe svih zainteresovanih strana, a ne samo korisnika. Zbog kompleksnosti proizvoda, neophodno je održavati visok stepen komunikacije sa korisnicima kroz sve faze realizacije proizvoda (projektovanje,

inženjering i proizvodnja). Ono što je interesantno je da autori veoma visoko kotiraju principe fleksibilnosti (princip pod rednim brojem 3) i princip modularizacije (princip pod rednim brojem 4). Iako se može reći da su ova dva principa suprotstavljeni, pri detaljnijoj analizi se može zaključiti da to ne mora da bude tako. Modularizacija zaista može da utiče na fleksibilnost, tako što može da smanji broj varijanti koje se mogu ponuditi korisniku. Međutim, autori pod fleksibilnošću pre svega smatraju brzinu prelaska sa proizvodnje jedne vrste proizvoda na drugu, koja se ostvaruje kroz brzu izmenu alata, i kroz smanjenje veličine serije. Fleksibilnost se posmatra pre svega kroz smanjenje troškova, dok je povećanje fleksibilnosti ponude od sekundarnog značaja (Powell et al., 2014). Ovde treba biti pažljiv, s obzirom da fleksibilnost ponude i proizvodnje predstavlja jednu od osnovnih karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema, i može se desiti da kompanija odluči da odbaci princip modularizacije, smatrajući da će ona imati negativan efekat na fleksibilnost. Ono što nije jasno je šta autori smatraju pod principom 6, odnosno šta je u konkretnom slučaju vučenje proizvodnje prema tražnji. Autori navode da je, kada god je to moguće, neophodno uskladiti sa tražnjom za proizvodima. Ono što ostaje nejasno je šta ovaj princip dodaje u odnosu na postojeće karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema, s obzirom da proizvodnja (odnosno u ovom konkretnom radu, projektovanje pa zatim i proizvodnja) počinje onda kada korisnik poruči određeni proizvod, s obzirom da proizvodnja pre poručivanja nema mnogo smisla, pošto se ne zna tačno šta će se sledeće tražiti.

Značajnu ulogu u primeni lin pristupa igraju i zaposleni, ali oni nisu česta tema radova o primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Muda & Hendry (2002b) smatraju da postoji niz prepreka u razvoju zaposlenih u skladu sa lin principima. Kao osnovnu, autori navode to što su zaposleni u nerepetitivnim proizvodnim sistemima slični zanatlijama, koji su ponosni na svoje veštine u izvođenju određenog posla. Iako se to može posmatrati kao prednost, u značajnoj meri smanjuje fleksibilnost radne snage. Pored toga, neophodno je da zaposleni postignu više standarde u oblastima kao što su motivacija, entuzijazam, održavanje prostora, obezbeđivanje kvaliteta, preventivno održavanje opreme i popravka mašina (Muda & Hendry, 2002b). Deflorin & Scherrer-Rathje (2012) smatraju da je neophodno pre svega promeniti način na koji ljudi razmišljaju. Autori tvrde da je neophodno da se odgovornost spusti na što je moguće niži nivo organizacije, i da zaposleni prihvate tu odgovornost. Neophodno je da se ljudi

ohtrebno da aktivno učestvuju u identifikaciji problema i predlaganju rešenja, kako bi se dodatno motivisali, s obzirom da nije redak slučaj da zaposleni smatraju da će implementacija lin pristupa njihov posao učiniti dosadnim (Deflorin & Scherrer-Rathje, 2012). Autori rešenje problema vide pre svega u krosfunkcionalnoj analizi, u kojoj bi učestvovali svi zaposleni koji su zainteresovani za rešavanje problema, a koja treba da vodi ka eliminisanju uzroka problema, umesto ka prebacivanju krivice na drugoga.

3.5 Kritički osvrt na dosadašnje rezultate istraživanja

Analizom dosadašnjih rezultata istraživanja se može doći do zaključka da interesovanje za primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima postoji. Ovakav zaključak je u skladu sa istraživanjima koja su vršili drugi autori, a koja predviđaju da će lin pristup u budućnosti sve više napuštati okvire u kojima je nastao (repetitivni proizvodni sistemi), i biti primenjivan u okruženjima koja se smatraju nestandardnim za primenu lin pristupa (videti, na primer, Hines et al., 2004; White & Prybutok, 2001). Papadopoulou & Özbayrak (2005) smatraju da je jedan od glavnih zadataka istraživanja lin pristupa otkrivanje punog potencijala primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Sličnog su stava i Melchert et al. (2006) koji smatraju da se buduća istraživanja moraju fokusirati na proširivanje primenjivosti lin pristupa na nerepetitivne proizvodne sisteme.

Jedan od ciljeva ovog dela istraživanja je da se provere pretpostavke koje su postavljene u uvodnim razmatranjima, a koje se tiču primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Sistematskom analizom dostupne literature su potvrđene sledeće pretpostavke:

- Nerepetitivni proizvodni sistemi se po svojim karakteristikama mogu značajno razlikovati od repetitivnih proizvodnih sistema; međutim, rezultati istraživanja pokazuju da lin pristup može biti na jednak način relevantan za nerepetitivne proizvodne sisteme kao i za repetitivne; razlike u karakteristikama repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema ne dozvoljavaju jednostavno kopiranje postojeće prakse, već zahtevaju specifičan pristup u implementaciji lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima;

- Lin pristup se često posmatra kao skup alata, a ređe kao filozofski pristup i skup principa koji bi trebalo da mu obezbede univerzalnost; pregled literature pokazuje da se uspešnost primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima često ocenjuje kroz broj lin alata koji su uspešno implementirani; primetan je nedostatak šireg pogleda na lin pristup u kontekstu nerepetitivne proizvodnje;
- Prilikom analize primenljivosti lin pristupa u nerepetitivnoj proizvodnji, autori se često vode konstruktima koji su karakteristični za repetitivnu proizvodnju, što može uticati na uspešnost primene, s obzirom da se u obzir ne uzimaju specifičnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema; nije redak slučaj da se radije pristupa menjanju karakteristika samog proizvodnog sistema (nekada bez rezona, i na silu) kako bi se on učinio podesnijim za primenu konstrukata kao što su ćelijska proizvodnja ili sistem vučenja po principu Kanbana; sa druge strane, konstrukt rasipanja, koji se često spominje kao suština lina, nije posvećeno dovoljno pažnje u kontekstu nerepetitivne proizvodnje;
- Ne postoji jedinstveni okvir implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, čak ni u obliku grubog skupa principa i pravila kojih bi se trebalo pridržavati; studije slučaja su specifične, i obično im nedostaje generalizacija rešenja koja su primenjena i analizirana;

Pored potvrđivanja pretpostavki koje su postavljene u uvodnim razmatranjima, primećeno je još nekoliko činjenica:

- Zrelost literature koja tretira primenu lin pristupa u nerepetitivnoj proizvodnji, merena brojem radova koji su objavljeni, nije na visokom nivou; sa druge strane, radovi koji su analizirani su objavljeni u renomiranim naučnim časopisima, i imaju veliki indeks citiranosti; ovde se još mora navesti da je analiziran samo podskup ukupne literature (samo radovi objavljeni u časopisima sa recenzijom), kako bi se obezbedila sistematičnost u analizi;
- Proizvodnja, kao specijalizovani podsistem preduzeća, se često posmatra kao izolovani entitet, bez jasne veze sa ostalim (univerzalnim) podsistemima preduzeća; primećuje se nedostatak procesnog pogleda na celokupan proizvodni

sistem, gde svi podsistemi treba da rade na ostvarivanju zajedničkog cilja, a to je zadovoljenje potreba korisnika;

- Analiza primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je često fokusirana na specifične alate lin pristupa, ili na specifične probleme, i primetan je nedostatak šireg konteksta u istraživanju;
- Iako u lin pristupu ljudski faktor igra značajnu ulogu, primetno je da se nerepetitivni proizvodni sistemi u velikoj meri posmatraju kao čisto tehnički sistemi, umesto kao socio-tehnički sistemi, što je mnogo bliže samoj definiciji lin pristupa.

Ovakvi rezultati analize literature imaju nekoliko implikacija: (i) u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je neophodno istraživati primenu lina pre svega sa stanovišta filozofije i principa lin pristupa, odnosno ciljeva koji su se želeli postići, i ponuditi interpretaciju lin pristupa koja u obzir uzima karakteristike nerepetitivne proizvodnje; (ii) na osnovu identifikovanih ciljeva i principa je potrebno definisati univerzalni model lin pristupa koji u najvećoj meri odgovara specifičnostima nerepetitivnih proizvodnih sistema, odnosno definisati šta bi zapravo mogao biti lin nerepetitivni proizvodni sistem, kao i okvir za primenu definisanog lin pristupa, odnosno za uspostavljanje lin nerepetitivnog proizvodnog sistema; prilikom definisanja modela je neophodno voditi se principima situacionog pristupa; (iii) neophodno je proveriti da li tako definisan lin pristup može dovesti do unapređenja operativnih performansi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

U Tabeli 8 je dat sumarni pregled osnovnih problema koji su uočeni kroz kritički osvrt na rezultate dosadašnjih istraživanja. Pored toga, za svaki identifikovani problem je dat predlog mogućeg rešenja problema.

Prvi korak ka uspešnoj implementaciji lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je obezbeđivanje razumevanja lin principa i problema koje oni adresiraju. Zadatak je ponuditi interpretaciju poznatih principa, kako bi nerepetitivni proizvođači videli mogućnost njihove primene u sopstvenom okruženju. Interpretacija bi omogućila približavanje lin pristupa, i njegovo korišćenje u cilju rešavanja specifičnih problema. Ovo bi omogućilo prelaz na drugi korak, koji podrazumeva detaljnu analizu problema u odnosu na lin principe, i pronalaženje rešenja koje u potpunosti odgovara okruženju u

***Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema***

kojem je problem identifikovan. Ova dva koraka vode ka finalnom cilju, a to je formulacija modela primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, koji bi bio dovoljno instruktivan da menadžerima da konkretne smernice kako da reše određene probleme.

Tabela 8. Problemi identifikovani u dosadašnjim istraživanjima, istraživačka pitanja i predlog mogućih rešenja

Problem identifikovan u dosadašnjim istraživanjima	Istraživačko pitanje	Predlog mogućeg rešenja identifikovanog problema
Neadekvatno razumevanje fundamentalnih lin principa od strane nerepetitivnih proizvođača	Da li se primenom lin pristupa mogu rešavati problem u nerepetitivnim proizvodnim sistemima?	Izvršiti analizu bazičnih principa lin pristupa, i analizu karakteristika i problema nerepetitivnih proizvodnih sistema, u cilju ocene primenljivosti lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistema
Pokušaj menjanja karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema u cilju prilagođavanja konstruktima i alatima lin pristupa korišćenim u repetitivnim proizvodnim sistemima	Na koji način se principi lin pristupa mogu prilagoditi karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema?	Ponuditi reinterpretaciju principa lin pristupa u kontekstu nerepetitivnih proizvodnih sistema, uz uvažavanje karakteristika i specifičnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema
Nepostojanje sistematičnog i strukturiranog načina implementacije lin pristupa u nerepetitivnoj proizvodnji	Može li se formalizovati model primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima?	Razviti model implementacije lin principa u nerepetitivnoj proizvodnji zasnovan na primeni lin principa i filozofije; voditi se problemima, ne alatima

Pored navedenih problema, koji su identifikovani kao primarni, identifikovani su i drugi problemi: neintegrisanost internog i eksternog lanca snabdevanja, posmatranje proizvodnog sistema kao tehničkog umesto kao sociotehničkog sistema, nedovoljan fokus na identifikaciju i eliminisanje rasipanja, i slično. Ovi problemi se, sa stanovišta doktorske disertacije, proglašeni za manje značajne, i biće rešavani samo u kontekstu rešavanja problema koji su identifikovani kao dominantni.

4. Analiza mogućnosti primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Namera istraživanja razvoja lin pristupa, kao i istraživanja karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema je da se utvrdi da li postoji mogućnost implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, kao i da li postoji mogućnost rešavanja problema u organizovanju takvih proizvodnih sistema primenom ovog pristupa. Trebalo bi da ovaj deo istraživanja da najveći deo odgovora na pitanje o potvrdi hipoteze H1:

H1 Moguće je implementirati lin pristup u nerepetitivnim proizvodnim sistemima;

Posebna hipoteza je dalje razrađena do pojedinačnih hipoteza, i potvrđuje se ili odbacuje na osnovu potvrđivanja ili odbacivanja pojedinačnih hipoteza:

H1.1 Lin pristup je razvijen za potrebe repetitivnih proizvodnih sistema;

H1.2 Karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema se razlikuju od karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema;

H1.3 Primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se razlikuje od primene lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima;

H1.4 Moguće je rešavati probleme u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa;

H1.5 Moguće je formalizovati model implementacije lin pristupa u nerepetitivnom proizvodnom sistemu;

U ovom delu istraživanja će se potvrditi ili odbaciti pojedinačne hipoteze H1.1 do H1.4, dok će hipoteza H1.5 biti potvrđena ili odbačena u narednom delu istraživanja. Da bi se potvrdile ili odbacile hipoteze H1.1 do H1.4 izvršeno je istraživanje literature o razvoju lin pristupa, karakteristikama repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema, implikacijama koje karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema imaju na implementaciju lin pristupa, i mogućnostima rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa.

U prvom poglavlju je analiziran razvoj lin pristupa. Lin pristup je nastao u Tojoti nakon drugog svetskog rata kao odgovor na promenjene zahteve kupaca koji su tražili različite proizvode u obimima koji nisu opravdavali masovnu proizvodnju u velikim serijama. Prilikom širenja lin pristupa na zapad, formulisan je pojam „repetitivna proizvodnja“ kao proizvodnja proizvoda koji su standardni ili čija se varijantnost postiže kombinovanjem standardnih komponenti, kako bi se opisalo okruženje u kojem je lin pristup nastao i u kojem je razvijan. Repetitivni proizvodni sistemi napuštaju principe masovne proizvodnje, tako što organizuju proizvodnju u malim serijama, uz smanjenje troškova rada na izmeni serija. Primena lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima ima značajan uticaj na povećanje fleksibilnosti i efikasnosti proizvodnje, gde je moguća izrada većeg broja različitih proizvoda na ekonomski opravdan način. Ovaj deo istraživanja potvrđuje pojedinačnu hipotezu:

H1.1 Lin pristup je razvijen za potrebe repetitivnih proizvodnih sistema;

U drugom poglavlju su kroz istraživanje relevantne literature analizirane karakteristike repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema. Zatim je izvršeno poređenje karakteristika jedne i druge vrste proizvodnih sistema prema elementima proizvodnog sistema koji su definisani u nacrtu naučne zamisli. Rezultati istraživanja pokazuju da postoje značajne razlike u potrebama koje zadovoljavaju repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi, a posledično i u ciljevima kojima teže i zadacima koje izvršavaju na putu ka ispunjenju tih ciljeva. Repetitivnost, odnosno nerepetitivnost proizvodnje predstavljaju stratešku odluku i izvor konkurentske prednosti u zadovoljavanju zahteva korisnika na specifičnom tržištu. Karakteristike repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema proizilaze iz specifičnih ciljeva i zahteva tržišta, pa se zbog toga i razlikuju. Ovaj deo istraživanja potvrđuje pojedinačnu hipotezu:

H1.2 Karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema se razlikuju od karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema;

U trećem poglavlju je, kroz istraživanje relevantne literature, analiziran način primene lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima, i implikacije koje karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu imati na primenu lin pristupa. Istraživanje pokazuje da se implementacija lin pristupa može analizirati na dva nivoa: prvi je nivo

fundamentalnih pravila implementacije lin pristupa, dok je drugi nivo metoda, tehnika i alata lin pristupa, i načina njihovog kombinovanja. Rezultati istraživanja pokazuju da karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema nemaju značajnog uticaja na fundamentalna pravila implementacije lin pristupa, i da se pravila i principi mogu primeniti uz male modifikacije. Sa druge strane, karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu imati značajne implikacije na operacionalizaciju pravila i principa, odnosno na primenu metoda, tehnika i alata lin pristupa, gde je primena nekih tehnika i alata otežana, dok je kod nekih primena nekih tehnika i alata onemogućena. Način kombinovanja metoda, tehnika i alata je najčešće usklađen sa karakteristikama repetitivnih proizvodnih sistema, i često je usmeren od sredstava ka ciljevima, što govori da se praksa repetitivnih proizvodnih sistema u primeni lin pristupa ne može kopirati u nerepetitivne proizvodne sisteme. Ovaj deo istraživanja potvrđuje pojedinačnu hipotezu:

H1.3 Primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se razlikuje od primene lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima;

Karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema imaju značajne implikacije na način na koji se lin pristup može primeniti u specifičnom okruženju. Ovo kao posledicu ima potrebu da se za primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima razvije poseban pristup, koji neće imati za cilj uspostavljanje kopije Tojotinog proizvodnog sistema, već proizvodnog sistema koji je zasnovan na principima Tojotinog proizvodnog sistema.

U četvrtom poglavlju su analizirani problemi nerepetitivnih proizvodnih sistema, kao i mogućnosti rešavanja identifikovanih problema primenom lin pristupa. Kao dominantni problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima su identifikovani dugačka protočna vremena, niska pouzdanost isporuke, nezadovoljavajući kvalitet, visok nivo zaliha i visoki troškovi. Analiza je pokazala da postoji izvesno poklapanje problema repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema, i da se problemi koji se poklapaju u repetitivnim proizvodnim sistemima često rešavaju primenom lin pristupa. Razlike koje postoje u problemima i u njihovoj prioritizaciji su posledica različitih ciljeva i karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema. Da bi se odgovorilo na pitanje da li je moguće rešavati probleme u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin

pristupa, urađena je analiza tri studije slučaja primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Rezultati analize studija slučaja pokazuju da su ostvarena poboljšanja u problematičnim područjima koja su identifikovana u prethodnom delu istraživanja. Ovaj deo istraživanja potvrđuje pojedinačnu hipotezu:

H1.4 Moguće je rešavati probleme u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa;

Pored potvrde pojedinačne hipoteze, ovaj deo istraživanja pokazuje i način na koji se karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu unaprediti nakon primene lin pristupa.

Potvrda hipoteza H1.3 i H1.4 je od posebnog značaja, jer dokazuje da je primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima moguća, i da je probleme nerepetitivnih proizvodnih sistema moguće rešavati primenom lin pristupa. Pored toga, potvrdom hipoteze H1.3 i H1.4 je pokazano da je primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima moguća samo ukoliko se u obzir uzmu sve specifičnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema, odnosno da se za implementaciju lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima mora razviti specifičan pristup koji je prilagođen potrebama tih sistema.

4.1 Pregled razvoja lin pristupa

Proizvodnja automobila je privredna grana u kojoj su nastali danas dominantni načini proizvodnje, i nije neobično što oštra konkurencija koja postoji u ovoj grani dovodi do neprekidnog rada na povećanju efikasnosti proizvodnje (Slović, 2007). Proizvodnja automobila se danas prepoznaje kao repetitivna proizvodnja (Schonberger, 1982b). Repetitivna proizvodnja je proizvodnja proizvoda ili familija proizvoda, gde se veliki deo raspoloživih kapaciteta koristi za proizvodnju repetitivnih proizvoda, i gde je redosled operacija fiksna; proizvodi su standardni, ili sastavljeni od standardnih modula; upravljanje proizvodnjom je najčešće zasnovano na brzini (ritmu) proizvodnje (Schonberger, 1982a; Spencer & Cox, 1995). Razvoj repetitivne proizvodnje je u velikoj meri pratio razvoj automobilske industrije. Proizvodnja automobila je započela kao zanatska proizvodnja, nakon čega je doživela dve fundamentalne promene u XX

veku: prelazak sa zanatske proizvodnje na masovnu proizvodnju, i prelazak sa masovne proizvodnje na lin proizvodnju (Womack et al., 1990).

4.1.1 Razvoj masovne proizvodnje

Tokom ere zanatske proizvodnje, dominantnu ulogu na tržištu automobila su imali evropski proizvođači. U zanatskoj proizvodnji, visoko obučeni radnici (koji počinju kao šegrti, i kroz rad se obučavaju da postanu majstori), radeći sa jednostavnim i fleksibilnim alatima, izrađuju proizvode koji potpuno odgovaraju zahtevima korisnika, u malim obimima (nije redak slučaj da proizvod koji se proizvede predstavlja u isto vreme i prototip; videti Womack et al., 1990). Rezultat zanatske proizvodnje je proizvod koji je u velikoj meri jedinstven, ali je zato i veoma skup. Pored toga, kao jedan od problema sa kojima su se susretali zanatski proizvođači automobila je što su delovi koji su se ugrađivali u automobile „približno“ zadovoljavali tehničke specifikacije, što je zahtevalo njihovo *fitovanje* (eng. *fitting*) na automobil. Rezultat je automobil koji je težak za održavanje, a često težak i za vožnju, što je zahtevalo da automobilom upravlja posebno obučeni vozač.

Henri Ford je u najvećoj meri odgovoran za prvu fundamentalnu promenu u načinu proizvodnje automobila, odnosno za razvoj masovne proizvodnje. Dugi niz godina je pokušavao da eliminiše probleme koji su identifikovani u zanatskoj proizvodnji, i to mu je uspeo sa njegovim Modelom T. Model T je predstavljao automobil koga je bilo jednostavno voziti i održavati, bez potrebe za specijalizovanim vozačima ili mehaničarima. Jednostavno održavanje je posledica konzistentne zamenljivosti delova automobila, i jednostavnosti u spajanju jednog dela sa drugim. Upravo zamenljivost delova se smatra ključnim aspektom masovne proizvodnje. To je donelo Fordu konkurentsku prednost u odnosu na druge proizvođače automobila, jer je standardizacijom delova i obezbeđivanjem njihove lake zamenljivosti eliminisao potrebu za obučenim i iskusnim *fiterima*, čije je angažovanje bilo skupo. Druga karakteristika Fordovog proizvodnog sistema je detaljna podela rada. Za zanatsku proizvodnju je bilo karakteristično da jedan radnik sastavlja veliki deo automobila (na primer, sve mehaničke delove), što je bila karakteristika i Fordove proizvodnje u ranim fazama razvoja. Kada je postignuta zamenljivost delova, Ford je odlučio da svaki radnik obavlja samo jedan zadatak, i da pri obavljanu zadatka ne napušta radno mesto. Pored

specijalizacije proizvodnih radnika, Ford je uveo i specijalizaciju rada, pa su za razvoj proizvodnje bili zaduženi industrijski inženjeri, inženjeri proizvodnje (tehnolozi) i inženjeri proizvoda (konstruktori), čiji je zadatak bio da standardizuju i pojednostave rad, kako bi mogli da ga rade i nekvalifikovani radnici. Podela rada je bila razvijena do krajnjih ekstrema, gde je radnik u liniji za masovnu proizvodnju imao vrlo ograničen zadatak. Osim usko definisanog zadatka, radnik na liniji nije učestvovao u drugim poslovima (obezbeđivanje materijala, alata, dokumentacije i slično). Poslovođa je imao zadatak da se stara da radnici na liniji izvršavaju radne naloge koje su razvijali industrijski inženjeri. Specijalizovani radnici su bili zaduženi i za održavanje alata i opreme, kontrolu kvaliteta i održavanje radnog prostora.

Kako bi obezbedio zamenljivost delova, kao i korišćenje nekvalifikovane radne snage, Ford je projektovao specijalizovanu proizvodnu opremu, koja može da proizvede jeftine međusobno zamenljive delove. Cilj je bio da se eliminišu podešavanja opreme između proizvodnje različitih delova. Ford je razvio opremu koja može da obavlja samo jedan zadatak u nekom periodu, dok su inženjeri razvili posebne dodavače i stege koje će držati proizvod dok se obrađuje. Na taj način je obezbeđeno da mašinu može puniti i prazniti i nekvalifikovani radnik, dok su za te poslove u zanatskoj proizvodnji bili neophodni obučeni majstori. Oprema je bila gotovo automatizovana, s obzirom da je učešće ljudskog rada bilo smanjeno na minimum. Problem specijalizovane opreme je što je njeno modifikovanje i prilagođavanje novim proizvodima skupo i komplikovano, što kao posledicu ima nefleksibilnost proizvodnje. Oprema je bila raspoređena prema redosledu operacija, s obzirom da je Ford proizvodio samo jedan model, Model T. Odluka da se proizvodi samo jedan model je bila vođena i ciljem da se poveća obim proizvodnje.

Kako bi se obezbedilo da radnik ne mora da napušta svoje radno mesto kako bi uradio određeni zadatak, pored snabdevanja radnog mesta materijalom i alatom je bilo neophodno da se predmet rada kreće od jednog radnog mesta do drugog. U skladu sa tim, Ford uvodi kontinualnu pokretnu traku, čiji je zadatak bio da do radnika, koji je stacionaran, donosi posao. Ovakav način organizovanja proizvodnje je doveo do velikih ušteda u vremenu ciklusa, koje su nastale zato što radnik nije morao da hoda, kao i zbog veće brzine rada koju je nametala pokretna traka. Uštede u vremenu rada na montaži

***Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema***

koje su ostvarene u poređenju sa zanatskom proizvodnjom su prikazane u Tabeli 9. Zamenljivost delova i pokretna traka su Fordu donele uštede (sada je bilo moguće koristiti neobučene ili poluobučene radnike) i povećanje produktivnosti (omogućavajući radniku da konstantno radi na predmetu rada, bez napuštanja radnih mesta ili nepotrebnih kretnji). Nova rešenja su smanjila zahteve za novcem (pokretna traka se u velikoj meri isplatila uštedama koje je donela, kao i uštedama u radnoj snazi), a smanjila su i napore koji su potrebni da se montira automobil. Ford je ranih 1920-tih proizvodio 2 miliona identičnih vozila godišnje, uz cenu koja je bila znatno niža u odnosu na konkurenciju.

Tabela 9. Odnos zanatske i masovne proizvodnje u montaži - odnos 1913. i 1914.
(Womack et al., 1990)

Vreme rada na montaži [u minutima]	Kasna zanatska proizvodnja Krajem 1913.	Masovna proizvodnja Proleće 1914.	Procentualno smanjenje vremena
Motor	594	226	62%
Paljenje	20	5	75%
Osovina	150	26,5	83%
Glavne komponente u kompletno vozilo	750	93	88%

Pored navedenog, značajan je doprinos koji je Ford imao u integraciji proizvodnje, sa ciljem da se kompletan proces objedini pod jednim krovom (Womack et al., 1990). Tako je Ford stekao kontrolu nad izvorima sirovina koje su bile neophodne za izradu automobila (rudnici, drvena građa, kaučuk, staklo), i obezbedio infrastrukturu kako bi se te sirovine efikasno dostavljale u proizvodnju.

Iako je zamenljivost delova nastupila pre uvođenja pokretne trake, tek je pokretna traka (s obzirom na njenu vidljivost) izazvala interesovanje drugih proizvođača automobila. Životni standard se popravio u Americi, pa je došlo do diverzifikacije tražnje. Više nije bilo dovoljno da je automobil jeftin i jednostavan za upotrebu i održavanje, već su se javili i specifični zahtevi. Sistem koji je razvijen u kompaniji General Motors, a koji je u velikoj meri delo Alfred Sloan-a je pokušao da odgovori na ovu diverzifikaciju u zahtevima, tako što je kao cilj imao ponudu automobila različitih svrha i cena. Sloan, u to vreme potpredsednik kompanije General Motors, je ponudio miks od pet različitih automobila, koji su se kretali u rangi od jeftinih do skupih (Womack et al., 1990). U

general Motors-u su pokušali da pomire potrebu za standardizacijom, koja je imala za cilj da smanji troškove, i potrebu za različitim proizvodima. Rezultat je bila standardizacija više mehaničkih delova (kao što su pumpe i generatori) kroz čitav proizvodni miks, koji su proizvođeni na specijalizovanoj opremi u periodu od mnogo godina (Womack et al., 1990).

Ford, i kasnije Sloan, su uspostavili principe proizvodnje visokog obima, koje su nakon Drugog svetskog rata preuzeli proizvođači iz Evrope. Evropski proizvođači su u određenom smislu unapredili masovnu proizvodnju, tako što su nudili ono što Američki proizvođači nisu, a to su kompaktni i ekonomični automobili, kao i redovne inovacije u karakteristikama proizvoda, kao što su disk kočnice, pogon na prednje točkove, petobrzinski menjači, i slično (Womack et al., 1990). Veća diverzifikacija je bila moguća imajući u vidu niže troškove radne snage u Evropi, s obzirom da su evropski proizvođači nakon Drugog svetskog rata zapošljavali veliki broj imigranata (Womack et al., 1990). Međutim, zaposleni u evropskim automobilskim kompanijama su 1950-tih počeli da shvataju ono što su zaposleni u američkim kompanijama shvatili 1930-tih. Posao u automobilskoj industriji je postajao životni poziv, a ne privremeno rešenje. Pored toga, životni standard je rastao, kao i nivo obrazovanja, pa su radnici sve manje bili spremni da rade monotoni posao, i da budu smatrani za dodatak mašini. Uz to, 1973. je nastupila naftna kriza, koja je i u Americi povećala tražnju za ekonomičnijim automobilima. Takođe, tržište je zahtevalo veću mogućnost izbora, što je od američkih proizvođača zahtevalo potpuni redizajn automobila, kao i novu proizvodnu opremu (Womack et al., 1990). Tehnički deo Fordovog proizvodnog sistema se pokazao nefleksibilnim, jer nije mogao da odgovori na raznovrsne potrebe tržišta. Pored toga, problemi su nastali i u socijalnoj komponenti proizvodnog sistema, s obzirom da su radnici zahtevali bolje radne uslove, bolji tretman, i izazov u svakodnevnom poslu.

4.1.2 Počeci Tojotinog proizvodnog sistema

Masovna proizvodnja bi verovatno nastavila da postoji u manje-više nepromenjenom obliku, da nije došlo do značajnog proboja japanskih proizvođača na tržište. Japanska proizvodnja automobila nije bila puka kopija masovne proizvodnje tipične za američke proizvođače (Evropski proizvođači su u velikoj meri kopirali Fordov proizvodni sistem), već je nudila novi pristup koji je danas poznat kao lin pristup (Womack et al.,

1990). Lin pristup svoje korene ima u Japanu, konkretno u kompaniji Toyota Motors Corporation. Nastao je iz nužde, pošto su u Tojoti procenili da model masovne proizvodnje nije primenljiv u Japanu, s obzirom na nedostatak tražnje koja bi opravdavala takav način proizvodnje, kao i na nedostatak sredstava koja bi bila uložena u implementaciju masovne proizvodnje. Pored toga, koreni razvoja lin pristupa se mogu naći i u kulturološkoj, geografskoj i ekonomskoj istoriji Japana. Hopp & Spearman (2008) smatraju da je istorija življenja sa ograničenjima u prostoru i resursima u velikoj meri odredila usmerenost stanovnika Japana ka štednji. Autori tvrde i da je istočnjačka kultura u većoj meri orijentisana na sistemski pristup od zapadnjačke kulture, kao i da je industrija u Japanu geografski koncentrisana, što je omogućilo tešnju saradnju sa dobavljačima (Hopp & Spearman, 2008). Sve ovo je doprinelo da se razvije značajno različit model proizvodnog sistema, poznat pod nazivom Tojota proizvodni sistem (TPS).

Tojota, fabrika automatskih razboja, počinje sa ulaganjem u auto industriju 1933. godine i dve godine kasnije proizvodi prvi automobil. Deo preduzeća, za proizvodnju automobila - Toyota Motor Corporation je formalno osnovan 1937. Taiichi Ohno je verovatno najzaslužniji za formulaciju onoga što danas nazivamo Tojotinim proizvodnim sistemom. Ohno je tek 1943. godine prešao u automobilski deo Tojote, dok je pre toga radio u fabrici razboja. Može se reći da je od presudnog značaja za razvoj TPS-a i zdravorazumskog pristupa upravljanju proizvodnjom (koji je nastao kao posledica izazova sa kojima se kompanija suočavala) imalo upravo to što Ohno pre prelaska u Toyota Motor Corporation nije imao nikakvo iskustvo u proizvodnji automobila (Cusumano, 1985).

Kako Ohno (1988) tvrdi, put inovativnog razvoja Tojotinog proizvodnog sistema je započet 1945. godine, kada je Kiichiro Toyoda izjavio da njegova kompanija „mora stići Amerikance za tri godine. U suprotnom, automobilska industrija Japana neće preživeti“. Ohno (1988) ističe da je produktivnost rada japanskih kompanija, prema procenama, nakon rata bila devet puta manja od produktivnosti rada u američkim kompanijama, navodeći da posao koji u američkoj kompaniji obavlja jedan radnik, u japanskoj kompaniji obavlja 9 radnika. Tojota nije uspela da stigne Amerikance za tri godine, ali je rešenost kompanije da unapredi način proizvodnje dovela do promena u

načinu organizovanja proizvodnje koje se smatraju najznačajnijim još od formalizacije naučnog upravljanja sa početka XX veka (Hopp & Spearman, 2008).

Ohno (1988) je smatrao da je za Tojotu najznačajnije da eliminiše razliku u produktivnosti koja je postojala između američkih i japanskih proizvođača. U posleratnom Japanu, tražnja za automobilima nije bila velika, i automobilska industrija nije igrala značajnu ulogu u ekonomiji zemlje, zbog čega je Ohno (1988) smatrao da model masovne proizvodnje jednostavno nije moguće primeniti u Japanu. Zato toga nije bilo moguće smanjiti troškove kroz eksploataciju ekonomije obima, na način na koji su to radili američki proizvođači automobila. Tržište automobila u Japanu je jednostavno bilo previše malo, a na tržištu su kupci tražili različite vrste proizvoda, i bio je neophodan drugačiji pristup smanjenju troškova. Masovna nabavka zapadne proizvodne opreme nije bila moguća zbog nedostatka finansijskih sredstava i ograničene spoljne razmene. Pored toga, svetski proizvođači nisu bili spremni da proizvode svoje automobile u Japanu, i želeli su da zaštite svoja tržišta od japanskog izvoza. Japanska vlada je zabranila direktne strane investicije u japansku auto industriju, što je značilo da se japanski proizvođači automobila moraju pre svega osloniti na sopstvena znanja i racionalizaciju proizvodnje, i krenuti sopstvenim putem razvoja. Tako je fokus sa ekonomije obime prebačen na eliminaciju rasipanja, odnosno svega onoga što troši resurse kompanije, a pri tome ne stvara vrednost za korisnika. Pored smanjenja troškova kroz eliminaciju rasipanja, značajan cilj su predstavljali puno uvažavanje/korišćenje potencijala zaposlenih i kontinuirano unapređivanje proizvodnje (Sugimori et al., 1977; Shingo, 1989).

Jedna od osnovnih karakteristika Tojotinog proizvodnog sistema je uporan rad na eliminaciji svih oblika rasipanja (Ohno, 1988; Shingo 1989). Rasipanjima se smatra sve osim minimuma opreme i alata, direktnog i indirektnog rada, materijala, prostora i energije apsolutno neophodnih da bi se dodala vrednost proizvodu (Slović, 2007). Shingo (1989) prepoznaje sedam tipova rasipanja:

- Preterana proizvodnja – proizvodnja količine veće od one koja je potrebna kupcu, ili proizvodnja proizvoda pre nego što su kupcu potrebni (u Tojoti smatraju da je ovo najopasnija vrsta rasipanja, jer prikriva potrebu za poboljšanjima);

- Čekanje – nastaje kada ljudi čekaju na mašinu, ljudi čekaju na druge ljude ili mašine čekaju na ljude;
- Transport – svako kretanje materijala ili informacija koje ne prati direktno tok izrade proizvoda ili usluga;
- Prekomerna obrada – svaki napor u procesu obrade koji ne dodaje vrednost proizvodu ili usluzi posmatrano iz kupčeve perspektive; prekomernom obradom se smatra i kada proizvod ili usluga imaju bolje karakteristike od onih koje kupac traži;
- Prekomerne zalihe – držanje količine zaliha (sirovog materijala, nedovršene proizvodnje i gotovih proizvoda) koja je veća od neophodno potrebne da bi se pravovremeno proizvodili proizvodi ili pružale usluge;
- Nepotrebni pokreti – svaki pokret ljudi ili mašina koji ne dodaje vrednost proizvodu ili usluzi;
- Defekti - sve ono što se naknadnom obradom ne može dovesti u stanje koje zadovoljava potreba korisnika, ali i sama dorada.

Verovatno najznačajniji oblik rasipanja predstavljaju prekomerne zalihe, bez obzira da li se radi o zalihama gotovih proizvoda, nedovršene proizvodnje ili sirovog materijala. Zalihe za sebe vezuju značajnu količinu kapitala, a pored toga nepotrebno zauzimaju prostor, i povećavaju potrebu za skladištima. Zalihe se često u koriste kao baferi, koji štite proizvodni proces od varijacija u tražnji, kao i od varijacija u samom procesu. U Tojoti ovakvo razmišljanje smatraju štetnim i kontraproduktivnim, jer se držanjem prekomernih zaliha skrivaju problemi koji predstavljaju prepreku kontinuiranom poboljšavanju proizvodnje (Ohno, 1988; Shingo, 1989). Zbog toga se u Tojotinom proizvodnom sistemu ističe rad na eliminisanju rasipanja u cilju kontinuiranog identifikovanja i rešavanja problema, s obzirom da ovaj pristup garantuje unapređenje znanja o procesu proizvodnje i omogućava efektivno kontinualno poboljšavanje proizvodnje (Spear & Bowen, 1999).

Pored rasipanja u užem smislu (*jap. muda*), u Tojoti se trude da eliminišu i druge uzroke neefikasnosti proizvodnje, a to su varijacije, odnosno nekonzistentnost (*jap. mura*) i preterano opterećivanje, odnosno nerazumnost (*jap. muri*). *Mura* predstavlja sve vrste varijacija koje se mogu javiti u proizvodnji, bilo da se radi o varijacijama u tražnji,

varijacijama u veličini posla, varijacijama u vremenu obrade, varijacijama u kvalitetu proizvoda i slično, a koje sprečavaju proces proizvodnje da se odvija na efikasan i efektivan način. Muri je gubitak koji nastaje zbog preteranog opterećivanja radnika, mašina ili bilo kakvih tehničkih sistema, čime se od njih zahteva da rade iznad njihovih mogućnosti (Beker et al., 2014).

4.1.3 Elementi tojotinog proizvodnog sistema

Monden (1983) navodi da je osnovni cilj TPS-a da *„proizvede proizvode koji su potrebni, u vreme kada su potrebni, i u količinama koje su potrebne, kako bi se eliminisala potreba za međuoperacionim zalihama i zalihama gotovih proizvoda“*. Glavni izazov u razvoju Tojotinog proizvodnog sistema je bio održati neometan tok proizvodnje u uslovima u kojima korisnici traže proizvodnju različitih vrsta proizvoda. Pri tome je bilo neophodno izbeći držanje velike količine zaliha, koje su smatrane rasipanjima u proizvodnji. Na ovim principima je nastao koncept pravovremene proizvodnje (eng. *Just-In-Time*), jedan od dva stuba koji čine osnovu Tojotinog proizvodnog sistema. Počeci principa pravovremene proizvodnje se mogu naći 1937. godine, kada Kiichiro Toyoda, koji je osnivač Toyota Motor Corporation, izjavio da *„treba da se radi samo ono što je stvarno potrebno, i to ni prerano ni prekasno“* (Helling, 1993). Ovo je praktično značilo da postoje definisane količine koje je trebalo proizvesti u toku dana. Ukoliko bi radnici traženu količinu proizveli ranije, išli bi kući, a ukoliko je tražnja bila veća od proizvodnih kapaciteta, ostajali bi prekovremeno (Helling, 1993). Sugimori et al (1977) definišu pravovremenu proizvodnju kao *„metod kojim se protočna vremena značajno skraćuju kroz održavanje sposobnosti za prilagođavanje promenama tako što svaki proces proizvodi neophodne delove u vreme kada je neophodno i uz sebe ima samo minimum zaliha koje su neophodne da bi procesi bili povezani“*. Povezanost procesa se postiže upotrebom sistema vučenja proizvodnje (eng. *pull*), uravnoteženja opterećenja (jap. *heijunka*) i kontrola toka materijala pomoću Kanban kartica.

Inspiracija za sistem vučenja nije potekla iz proizvodne prakse, već iz supermarketa (supermarketi u to vreme nisu postojali u Japanu), prilikom Ohno-ve posete Americi 1950-tih godina. Ohno je primetio kako je mala količina proizvoda izložena u rafovima supermarketa. Kupci bi sa rafova „povlačili“ količinu proizvoda koja im je potrebna, a

količina koja je „povučena“ sa rafova bi se dopunjavala iz centralnog skladišta. Analogno supermarketima, radna stanica u proizvodnji predstavlja korisnika, odnosno kupca, koji željenu količinu proizvoda povlači od radne stanice koja je „uzvodno“ u odnosu na radnu stanicu koja je korisnik. Povučena količina se, umesto iz skladišta kao što je to slučaj u supermarketu, nadoknađuje proizvodnjom one količine proizvoda koja je povučena od radne stanice koja predstavlja korisnika. Tradicionalni proizvodni sistemi su organizovani po principu guranja proizvodnje (*eng. push*), gde se koriste podaci o projektovanoj tražnji za pokretanje proizvodnje, gde se materijal gura od zaliha sirovina, kroz obradu, ka finalnoj montaži proizvoda. Kod pravovremene proizvodnje, tražnja pokreće proizvodnju u finalnoj fazi, koja dalje pokreće proizvodnji u fazama koje prethode, sve do nabavke sirovina za proizvodnju. Na ovim osnovama je nastao Kanban sistem kontrole toka materijala u proizvodnji, koji se odlikuje efektivnošću i jednostavnošću u primeni.

Kako bi se osiguralo da tražnja za različitim tipovima proizvoda može da se zadovolji svakodnevno, razvijen je princip uravnoteženja opterećenja. Uravnoteženi raspored proizvodnje se postiže tako što se mesečni zahtevi za proizvodnjom podele sa brojem radnih dana, kako bi se dobila količina svakog tipa proizvoda koju je neophodno proizvesti svakog dana. Ovim se postiže ravnomerna raspodela količina i varijanti proizvoda u toku vremena, čime se neujednačenost u tražnji transformiše u ujednačen i stabila proizvodni proces. Posledica uravnoteženja opterećenja, koja se postiže balansiranjem raspoloživih kapaciteta radnih stanica i njihovog opterećenja, rezultira modelom takozvane mešovite proizvodnje (*eng. mixed model production*), koja ima za cilj da zadovolji dnevne potrebe za određenim proizvodima bez stvaranja prekomernih zaliha (Shingo, 1989). Rezultat je ponovna proizvodnja kompletnog miksa proizvoda svakog dana.

Kako bi se implementirao model mešovite proizvodnje, neophodno je obezbediti veliku fleksibilnost proizvodnog sistema. To praktično znači da je neophodno proizvodnju organizovati u malim serijama, što predstavlja jednu od osnovnih razlika Tojotinog proizvodnog sistema u odnosu na masovnu proizvodnju (Ohno, 1988). Schnoberger (1982b) smatra da je jedno od najvećih postignuća Tojotinog proizvodnog sistema raskid sa proizvodnjom u velikim serijama, i težnja ka uspostavljanju jednokomadnog

toka kao ideala. Prepreku ka smanjivanju veličine serija je predstavljalo vreme izmene alata, koje je bilo predugo. Uticaj na vreme izmene alata je još jedna stvar koja razlikuje Tojotin proizvodni sistem u odnosu na proizvodne sisteme koji su karakteristični za proizvođače automobila sa zapada je spremnost da se utiče na proizvodno okruženje. Tako Toyota ne posmatra vreme izmene alata kao datost (što je bilo karakteristično za masovnu proizvodnju), već proaktivno utiče na smanjenje tog vremena, oblikujući time proizvodno okruženje. Tako je, pre svega kroz razvoj organizacionih elemenata (u smislu analize internih i eksternih elemenata vremena izmene alata) nastao koncept brze izmene alata. Inicijalne napore ka smanjenju vremena potrebnog za izmenu alata je načinio sam Ohno, a tehniku je usavršio Shigeo Shingo, razvivši koncept izmene alata za jednocifreni broj minuta (*eng. Single Minute Exchange of Dies – SMED*) (Shingo, 1985).

Ohno (1988) ističe raspored opreme kao vrlo značajan aspekt organizovanja pravovremene proizvodnje. Cilj je da se napusti funkcionalan raspored opreme, tako što će se oprema izmestiti iz procesnih sela (*eng. process villages*), i formirati proizvodna ćelija, u kojoj su mašine poređane prema redosledu operacija potrebnim da se proizvede deo (Womack et al., 1990). Time se formira jednokomadni tok, gde je fokus na potrebama predmeta rada, a ne na proizvodnoj opremi. Dodavanjem ili oduzimanjem radnika u ćeliji se povećava ili smanjuje intenzitet proizvodnje u ćeliji, čime se proizvodnja sinhronizuje sa zahtevima tržišta.

Drugi stub koji čini osnovu Tojotinog proizvodnog sistema je inteligentna automatizacija (*eng. automation; jap. jidoka*). Princip inteligentne automatizacije je nastao na iskustvu sa proizvodnjom automatskih razboja. Osnovni cilj je da se ne dozvoli da i jedan loš komad prođe dalje i poremeti tok proizvodnje (Womack & Jones, 1996). Automatski razboj je bio opremljen uređajima koji su obezbeđivali razboju mogućnost da razlikuje normalne od abnormalnih uslova funkcionisanja, omogućavajući razboju da stane u trenutku kada nit pukne, sprečavajući na taj način gubitak vremena i materijala. Ovakav način organizovanja proizvodnje je omogućio razdvajanje čoveka i mašine (Shingo, 1989). Kao rezultata primene principa inteligentne automatizacije imamo situaciju da jedan radnik može da opslužuje više mašina. Tako Shingo (1989) navodi da je Toyota početkom 1950-tih godina u proizvodnji imala 3.500

mašina i samo 700 izvršilaca. Ovakav način rada je posledica razmišljanja u Tojoti da su niski troškovi važniji od visokog stepena korišćenja kapaciteta.

Pored navedenog, Toyota je dosta ulagala u razvoj socijalne komponente svog proizvodnog sistema. Iako je socijalna komponenta postojala i u masovnoj proizvodnji, bila je u velikoj meri zanemarena. Kao i tehnička komponenta, i socijalna je postala kruta, gde su ljudi obavljali uzak skup zadataka, i gde su posmatrani kao dodatak mašini. U cilju podrške fleksibilnosti tehničkog dela sistema, unapređena je fleksibilnost socijalne komponente. Formirani su multifunkcionalni timovi, gde je svaki član tima bio osposobljen da obavlja čitav skup zadataka. Ovo je omogućavalo brza podešavanja kapaciteta u slučaju potrebe, kao i kompenzovanje varijacija nastalih usled internih razloga (odsustvo radnika, preraspodela posla i slično). U masovnoj proizvodnji je obučenost radnika bila niska, i neobučeni radnici su upravljali sofisticiranim mašinama i uređajima. U Tojoti se obuka radnika visoko cenila, i visoko obučeni radnici su upravljali sofisticiranim mašinama, što je dovelo do sinergetskog efekta (Hayes, 1981). Radni timovi su imali visok stepen autonomije u organizovanju, dok se upravljanje bilo participativno, gde se svaki zaposleni slušao, a njegovi predlozi cenili.

Uobičajeni način za prikazivanje Tojotinog proizvodnog sistema je u obliku kuće, imajući u vidu da je Toyota, kao i kuća, strukturirani sistem (Liker, 2004). Izgled kuće može da varira, ali je suština uvek ista. Jedan od načina prikazivanja Tojotinog proizvodnog sistema u obliku kuće je dat na Slici 4.



Slika 4. Tojotin proizvodni sistem (Liker, 2004)

Liker (2004) navodi kako je svaki element Tojotinog proizvodnog sistema važan, ali da je još važniji način na koji se elementi međusobno podržavaju. Pravovremena proizvodnja podrazumeva smanjenje zaliha kao bafera koji štite operacije od problema koji mogu nastati. Eliminacija zaliha dovodi do veće vidljivosti problema sa kvalitetom, što ističe potrebu za *jidokom*, koja zaustavlja proces kada se problem javi, što opet zahteva od radnika da problem hitno reše kako bi se nastavilo sa proizvodnjom. Osnovu sistema čine stabilni procesi, koji su neophodni kako se procesi ne bi često zaustavljali. U središtu su ljudi, čiji je zadatak da kroz kontinualna poboljšavanja obezbede stabilnost procesa. Ljudi moraju biti obučeni da uoče rasipanja, i reše uzrok problema. Uzrok problema se rešava tako što se ide na mesto na kome je problem nastao (*jap. genchi genbutsu*).

4.1.4 Širenje Tojotinog proizvodnog sistema

Unapređenja uneta u način na koji je Tojota proizvodila automobile predstavljaju adaptacije postojećeg sistema koje su bile neophodne kako bi se kompanija prilagodila ekonomskoj situaciji tog vremena. Moglo bi se reći da je Ohno „izmislio“ Tojotin proizvodni sistem krajem 40-tih godina prošlog veka. Međutim, TPS je posledica kontinuiranog rada i učenja, koji su trajali decenijama (Holweg, 2007). Tojotin proizvodni sistem je u velikoj meri bio interni projekat, nedovoljno poznat van same Tojote. Ne može se sa sigurnošću tvrditi kada je počelo sa širenjem TPS-a. Za početak širenja se smatra 1965. godina, kada je Tojota predstavila Kanban sistem svojim dobavljačima, sa ciljem da se edukuju o pravovremenoj isporuci. Smanjenje veličine serije ima uticaja i na način na koji će nabavka biti organizovana, odnosno zahteva da se i nabavka obavlja u malim serijama. Tojota je započela uvođenje Tojotinog proizvodnog sistema u proizvodnju motora za automobile 1950-tih godina, u finalnu montažu automobila 1960-tih godina, dok je sistem prihvaćen od strane dobavljača tek ranih 1970-tih godina. Ovo se smatra vrlo značajnim korakom u diseminaciji Tojotinog proizvodnog sistema van granica same Tojote, dok se priručnici namenjeni dobavljačima smatraju za prvu formalnu dokumentaciju Tojotinog proizvodnog sistema (Holweg, 2007).

Šire interesovanje za TPS počinje 1973. godine, sa nastupanjem velike naftne krize koja je zahvatila svet. Veliki deo ekonomije u Japanu je trpeo posledice, dok je Tojota beležila rast i u teškim vremenima. Tada drugi japanski proizvođači počinju sa više interesovanja da posmatraju Tojotin proizvodni sistem. Pre naftne krize je interesovanje za Tojotin proizvodni sistem bilo ograničeno, i to iz najmanje dva razloga: (i) uslovi poslovanja pre nastupanja naftne krize su omogućavali razvoj privrede, pa se nije osećala potreba za detaljnim izučavanjem Tojotinog proizvodnog sistema; i (ii) nedostajala je formalna dokumentacija koja je objašnjavala razvoj Tojotinog proizvodnog sistema (Holweg, 2007). Prvi pisani dokument o Tojotinom proizvodnom sistemu koji je bio dostupan na engleskom jeziku je rad pod nazivom „*Toyota Production System and Kanban System Materialization of Just-in-Time and Respect-for-Human System*“ (Sugimori et al, 1977). Ovaj rad je značajan sa najmanje tri aspekta (Holweg, 2007):

- Rad ističe značaj usklađivanja radnih sistema sa proizvodnim sistemom; na taj način je u prvi plan stavljen sistemski pristup po kojem je Tojota prepoznatljiva, za razliku od drugih autora koji su pisali o Tojotinom proizvodnom sistemu u to vreme ili kasnije, a koji su se fokusirali na alate koje koristi Tojota, kao što su Kanban, SMED i slično;
- Autori nisu bili istraživači, već četiri menadžera koji su bili zaposleni u Tojoti, od kojih je jedan kasnije postao predsednik kompanije;
- Rad je sadržao inicijalne podatke za benčmark, koji su prikupljeni u četiri Tojotina montažna postrojenja, koji su upoređeni sa podacima o produktivnosti u američkim i evropskim fabrikama; ovo govori da je Tojota već u to vreme bila svesna svoje prednosti u odnosu na proizvođače iz Amerike i Evrope.

Širenje svesti o Tojotinom proizvodnom sistemu je išlo sporo sve do druge naftne krize, koja je nastupila 1979. godine. Tada se i na zapadu pojačava interesovanje za Tojotin proizvodni sistem, sa ciljem istraživanja sposobnosti japanskih proizvođača da održe uspešnost poslovanja uprkos turbulentnom ekonomskom okruženju (Harrison, 1992).

Usledilo je nekoliko radova (videti Monden, 1981a; Monden 1981b; Ohno & Kumagai, 1980), koji su inspirisali uspostavljanje radne grupe pod nazivom Repetitive Manufacturing Group (RMG), koja je nastala pod okriljem Američkog društva za proizvodnju i upravljanje zalihama (*eng. American Production and Inventory Control Society – APICS*). Grupa je održala 1981. godine radni sastanak u fabrici motora Kawasaki u gradu Linkoln, država Nebraska, gde je učesnicima bio predstavljen Kawasaki proizvodni sistem, koji je zapravo bio klon Tojotinog proizvodnog sistema. Učesnici sastanka su, između ostalog, bili i Schonberger i Hall, koji će i sami kasnije napisati knjige koje su veoma značajne za popularizaciju Tojotinog proizvodnog sistema. Sastanak je značajan još i zbog formulacije proizvodnog okruženja koje je pogodno za primenu Tojotinog proizvodnog sistema. Schonberger (1982a) i Hall (1983) su opisali repetitivno proizvodno okruženje, za koje su smatrali da je neophodno kako bi se ostvarile koristi od primene Tojotinog proizvodnog sistema i pravovremene proizvodnje. Autori navode da repetitivna proizvodnja predstavlja ponovnu (ponavljajuću) proizvodnju proizvoda koji su standardni, ili se dobijaju kombinovanjem standardnih modula i komponenti, u dužem vremenskom periodu (Schonberger 1982a;

Hall, 1983). Schonberger (1982a) navodi da repetitivno proizvodno okruženje predstavlja industrijsko okruženje u kojem se pravovremena proizvodnja razvija i napreduje. Ovakva definicija je značajno uticala na druge istraživače Tojotinog proizvodnog sistema, koji su u svojim istraživanjima usvojili karakteristike repetitivnog proizvodnog sistema koje su definisali Schonberger i Hall. Pojam repetitivna proizvodnja se koristio i ranije, ali sporadično i nesistemski. Potreba za definisanjem repetitivne proizvodnje se javila kako bi se proizvodno okruženje u kojem posluje Toyota razlikovalo od kontinualne proizvodnje, koja je karakteristična za procesnu industriju, ali i za masovnu proizvodnju, gde se najveća količina raspoloživog kapaciteta rezerviše za proizvodnju samo jednog proizvoda ili vrlo uskog miksa proizvoda. APICS je takođe usvojio definiciju repetitivnih proizvodnih sistema koji su primenili Tojotin proizvodni sistem, a koja ističe karakteristike koje te proizvodne sisteme izdavaju od drugih, kao što su minimizacija zaliha, vremena izmene alata i protočnih vremena (Blackstone & Jonah, 2013). Pored toga, Schonberger (1982a) iznosi da su japanski menadžeri najveštiji u upravljanju repetitivnim proizvodnim sistemima upravo zato što je pravovremena proizvodnja razvijena u takvom okruženju. Japanski pristup repetitivnoj proizvodnji se trudi da odvoji proizvodnju automobila od velikih serija, i da je približi što je moguće više jednokomadnom toku (u Tojoti se proizvodnja u malim serijama posmatra kao prelazno rešenje, u situacijama gde jednokomadni tok nije moguće uspostaviti) (Schonberger, 1982b). Schonberger (1982b) smatra da je jedan od uzroka uspeha Tojote to što su se koncentrisali na izmenu jednog od ulaznih parametara prilikom računanja optimalne veličine serija, a to su troškovi rada na izmeni alata. Snižavanje troškova rada na izmeni alata smanjuje optimalnu veličinu serije, idealno na veličinu od jednog komada, i to predstavlja jedan od ključnih faktora koji omogućavaju pravovremenu proizvodnju u Tojoti (Schonberger, 1982b). Uz smanjenje veličine serije i zaliha u proizvodnji, Schonberger (1982b) smatra da su bitne karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema smanjenje papirologije u samoj proizvodnji (u smislu kontrolisanja proizvodnje) i fleksibilnost u odgovoru na zahteve tržišta. Pored toga, značajan je fokus japanskih proizvođača na jednostavnost i eliminisanje rasipanja (Schonberger, 1982b). Schonberger (1982a) ističe ciklus razvoja Tojotinog proizvodnog sistema, navodeći da je i Toyota počela sa proizvodnjom različitih proizvoda u malim obimima. Međutim, Toyota je popunjavala segmente

tržišta koje drugi proizvođači nisu popunjavali. Niski troškovi proizvodnje i dobar kvalitet proizvoda su vodili ka većoj tražnji, što je dovelo do proizvodnje u većim obimima. To je omogućilo repetitivnu proizvodnju automobila, gde je proizvodnja jednog modela trajala duži vremenski period (Schonberger, 1982a). Veći obimi nisu značili da Tojota odustaje od proizvodnje u malim serijama (Shingo, 1989). Naprotiv, repetitivna proizvodnja organizovana prema principima Tojotinog proizvodnog sistema omogućava da se još više „utegne“ kontrola zaliha kod pravovremene proizvodnje, što dalje dovodi do još veće produktivnosti i do još boljeg kvaliteta.

Značaj uticaj na razumevanje Tojotinog proizvodnog sistema je imao i Hayes (1981), koji je nakon posete Japanu u svom radu „*Why Japanese Manufacturing Works*“ opisao na koji način japanci upravljaju svojom proizvodnom funkcijom. Do tada se verovalo da dominantan uticaj na uspeh japanskih kompanija imaju sociološke i kulturološke norme, i njihov uticaj na način vođenja proizvodnje. Hayes (1981) svoj rad grubo deli na dva dela: šta Tojotin proizvodni sistem *NIJE*, i šta Tojotin proizvodni sistem *JESTE*. Deo o tome šta Tojotin proizvodni sistem *nije* se zapravo bavi predrasudama i pogrešnim pretpostavkama o tome šta on *jeste*. Tako Hayes (1981) navodi da japanske fabrike nisu savremene proizvodne strukture koje su popunjene visoko-sofisticiranom opremom, da nema inteligentnih robota, da automatizacija nije na izuzetno visokom nivou, da oprema u japanskim fabrikama ne radi brže ili duže u odnosu na opremu u američkim fabrikama, da se ne radi u više od dve smene (ovde treba napomenuti da su u Tojoti smene bile desetočasovne, sa pauzom od dva sata između smena, koja je korišćena za održavanje mašina ili kratkoročno podešavanje kapaciteta u slučajevima pojačane tražnje (Shingo, 1989)). Pored toga, Hayes (1981) navodi da krugovi kvaliteta nisu uticajni onoliko koliko se smatralo, pre svega zato što drugim metodama obezbedilo da problemi sa kvalitetom proizvoda budu veoma mali. Sa druge strane, Tojotin proizvodni sistem jesu čista i uredna radna mesta (Tojotine mašine nisu novije od američkih, ali izgledaju i rade kao da su novije), jeste rad na kontinuiranom eliminisanju svih oblika zaliha (gotovih proizvoda, nedovršene proizvodnje, sirovina) što je posledica odustajanja od proizvodnje po principu ekonomije obima, jeste stabilizacija procesa u cilju smanjenja (eliminisanja) verovatnoće da nešto pođe naopako, jeste sprečavanja preopterećenja opreme i ljudi, i jeste uspostavljanje atmosfere bez pritiska i osećaja krize (Hayes, 1981). U Tojoti su smatrali neprihvatljivom proizvodnju sa defektima,

posebno na japanskom tržištu koje je bilo vrlo ograničeno. Tokom rada na unapređenju kvaliteta su videli da isti uslovi koji obezbeđuju proizvodnju bez defekata imaju značajan uticaj i na povećanje produktivnosti (Hayes, 1981). Eliminisanje problema vezanih za kvalitet pojednostavljuje proizvodnju, i značajno smanjuje troškove upravljanja proizvodnjom. Hayes (1981) zaključuje da deo uspeha japasnkih proizvođača leži u tome što su smatrali, za razliku od američkih proizvođača, da problem proizvodnje nije rešen, i što su kontinuirano radili na unapređenju fundamentalnih elemenata proizvodnje, gradeći efikasnu „fabriku sadašnjosti“.

Hayes (1981) navodi da postoji mogućnost da američki proizvođači primene principe koji su razvijeni za potrebe Tojotinog proizvodnog sistema. Istraživači i praktičari na Zapadu su tokom 1970-tih i 1980-tih godina imali priliku da se upoznaju sa principima i alatima Tojotinog proizvodnog sistema (Sugimori et al., 1977; Shingo, 1989; Krafcik, 1988; Ohno, 1988). Većina principa i alata je na zapadu tretirana pojedinačno, bez pokušaja da se prikaže celokupna slika Tojotinog proizvodnog sistema, sa posebnim akcentom na upravljanje tokom materijala u samoj radionici. Tako imamo prikaze Kanban sistema (Monden, 1981a; Monden 1981b) i pravovremene proizvodnje (Schonberger, 1982a). Ono što je karakteristično za publikacije iz ovog perioda je da se ne daje veza između sistema (TPS) i njegovih elemenata (JIT, TQM, i slično). Implementacija Tojotinog proizvodnog sistema kod zapadnih proizvođača automobila u tom periodu je bila parcijalna, i najvećim delom orijentisana na puku primenu lin alata. Kompanije sa zapada su pokušavale da kopiraju praksu koja je razvijena u Tojoti, bez ulaženja u kontekst problema. To je rezultiralo ograničenim uspehom u primeni, i rezultatima koji su bili lokalnog karaktera (Holweg & Pil, 2001). Uzroci ograničenog uspeha u primeni lin pristupa u kompanijama na zapadu (pa i u drugim kompanijama u Japanu) su različiti, ali se mogu prepoznati bar tri uzroka koji su dominantni: (i) Tojotin proizvodni sistem je razvijan decenijama, i u mnogome je rezultat kontinuiranog eksperimentisanja; (ii) proizvođači na zapadu su pokušali da doslovno primene Tojotin proizvodni sistem na način na koji je to urađeno u Tojoti, ne uzimajući u obzir specifičnosti okruženja; i (iii) primena je bila parcijalna, fokusirana isključivo na primenu (pojedinih) alata, bez ulaženja u suštinu problema. Pored toga, ne postoji univerzalan model primene, iako je Tojotin proizvodni sistem sada dobro dokumentovan, a dokumentacija je dostupna javnosti. Takođe, postoje i nedoumice oko

toga šta je Tojotin proizvodni sistem, pa nije redak slučaj da dva menadžera sa iskustvom u primeni Tojotinog proizvodnog sistema imaju različito mišljenje oko toga šta on zapravo predstavlja i kako radi (Zipkin, 1991). Iskustva su takođe različita, od situacija u kojima je primena Tojotinog proizvodnog sistema napravila preokret u poslovanju kompanije, do svedočanstava kako je Tojotin proizvodni sistem prevara koja rezultira haosom u fabrici, besnim kupcima i finansijskim neuspehom (Zipkin, 1991).

4.1.5 Razvoj lin pristupa

Pojam „lin“ se na Zapadu u tehničkoj i stručnoj literaturi pojavljuje krajem 1980-tih godina, i vezuje se za istraživanje koje je sprovedeno u cilju analize budućnosti svetske automobilske industrije. Termin „lin proizvodni sistem“ je prvi put upotrebljen u radu *„Triumph of the lean production system“* (Krafcik, 1988). Krafcik (1988) razlikuje dva modela proizvodnje koji dele pre- i post-Fordovsku eru u proizvodnji automobila. Prvi je model masovne proizvodnje koji je razvio Ford, i koji predstavlja tipičan model proizvodnje koji koriste proizvođači na zapadu, a drugi je lin model. Predeći ta dva modela, Krafcik (1988) zaključuje da je osnovna razlika u korišćenju zaliha (bafera), gde Fordov model koristi značajne količine zaliha kako bi zaštitio sistem od varijacija, dok lin model teži da zalihe smanji na apsolutni minimum, u cilju smanjenja troškova i lakše identifikacije i rešavanja problema sa kvalitetom proizvoda.

Istraživanje (poznato kao International Motor Vehicle Programme – IMVP) koje je trajalo pet godina, a koje je organizovao Institut za tehnologiju iz Masačusetsa (MIT), je rezultiralo knjigom *„The Machine That Changed the World“*, u kojoj je prikazana superiornost japanskog pristupa proizvodnji. Autori su smatrali da je tehnike koje su korišćene u Tojoti potrebno detaljno izučiti, a sam pristup proizvodnji su nazvali lin proizvodnja, lin pristup, ili samo lin (Womack et al., 1990). Womack et al. (1990) navode da lin proizvodnja *„koristi upola manje ljudskog napora u fabrici, upola manje prostora neophodnog za proizvodnju, upola manje novca uloženog u alat, upola manje projektantskih sati utrošenih da se razvije novi proizvod. Ona zahteva držanje upola manje zaliha, rezultira manjom količinom loših proizvoda, i velikim (i uvek rastućim) asortimanom različitih proizvoda“*. Liker (1996) definiše lin proizvodnju kao *„filozofiju koja, kada se primeni, smanjuje vreme koje protekne od porudžbine kupca do isporuke tako što eliminiše uzroke rasipanja u toku proizvodnje“*.

Nekoliko godina posle izlaska knjige „*The Machine That Changed the World*“, dolazi do pojave druge knjige koja se smatra značajnom za razvoj lin pristupa. U pitanju je knjiga „*Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*“, koja stavlja akcenat na filozofiju lin pristupa, ističući pet principa koji karakterišu japanski pristup organizovanju proizvodnje. Kao i kod Tojotinog proizvodnog sistema, fokus lin pristupa predstavljaju neometani tok proizvodnje, stvaranje vrednosti za korisnika i eliminisanje rasipanja (*muda*). Iako je kultura jedan od faktora koji su prepoznati kao izvor konkurentske prednosti japanskih proizvođača automobila, Womack et al. (1990) smatraju da osnovu lin pristupa predstavlja skup principa koji ne važe samo u Tojoti ili Japanu, već se jednako mogu primeniti svuda. Principi su sledeći (Womack & Jones, 1996):

- Identifikovanje vrednosti – samo mali deo vremena i napora uložениh u stvaranje nekog proizvoda zaista dodaje vrednost za korisnika; vrednost se definiše kao kombinacija karakteristika proizvoda i raspoloživosti;
- Identifikovanje i mapiranje toka vrednosti – utvrđivanje svih aktivnosti kroz čitavu organizaciju koje kroz zajedničko delovanje stvaraju i isporučuju vrednost korisniku;
- Obezbeđivanje nesmetanog toka stvaranja vrednosti – identifikacija i eliminisanje svih aktivnosti koje ne stvaraju vrednost za korisnika; pored toga, neophodno je ukloniti „departmentalistički“ mentalitet koji predstavlja prepreku nesmetanom toku materijala i informacija kroz sistem, bez prepreka u vidu defekata, redova čekanja i kvarova;
- Zadovoljenje tražnje korisnika sistemom vučenja (*pull*) – razumevanje tražnje, i organizovanje procesa tako da se proizvodi samo ono što korisniku treba, onda kada mu treba; primenom principa identifikacije vrednosti, obezbeđivanja nesmetanog toka vrednosti i sistema vučenja, protočna vremena se mogu značajno skratiti;
- Težnja ka savršenstvu – kontinuirani naponi da se sistem učini boljim nego što trenutno jeste.

Womack et al. (1990) navode da univerzalnost u primeni lin pristupa leži u tome što lin principi tretiraju problem menadžmenta koji su univerzalni svuda u svetu. Pre toga je i

Shigno (1989) izneo sličan stav, i rekao da je Tojotin proizvodni sistem primenljiv u bilo kojoj kompaniji, ali je upozorio da se sistem pre toga mora prilagoditi karakteristikama posmatrane fabrike.

U periodu popularizacije lin pristupa, korišćeni su različiti termini čiji je cilj bio da opišu istu stvar. Tako su se paralelno sa terminom lin pristup (ili lin proizvodnja) koristili i termini japanska proizvodna filozofija, pravovremena proizvodnja, Tojota proizvodni sistem i slični. Različitost aspekata lin pristupa, uz nestandardizovanu terminologiju, je otežavala efektivnu i uniformnu klasifikaciju lin pristupa (Lee & Jo, 2007). U širokoj analizi literature koja se bavi lin proizvodnjom, Bhamu & Sangwan (2014) su identifikovali 33 različite definicije lin proizvodnje (broj radova koji je analiziran je znatno veći). Kada se analiziraju definicije koje su predstavljene u njihovom radu, može se videti da je „rasipanje“ ključna reč koja se najčešće pojavljuje (14 puta). Prva sledeća ključna reč po broju ponavljanja je „filozofija“, koja se pojavljuje 8 puta. Sve ostale ključne reči („smanjenje troškova“, „skraćanje vremena“, „specificiranje vrednosti“, i slično) se pojavljuju znatno ređe. Autori u istom radu, analizirajući literaturu koja je objavljena u periodu od 1988. do 2012. godine, ističu divergentnost mišljenja o tome šta je lin pristup, navodeći da su se principi, ciljevi i oblast delovanja lin pristupa menjali kroz godine. Tako se lin pristup, između ostalog, može smatrati skupom principa (Womack et al, 1990), skupom alata i tehnika (Bicheno, 2004), filozofijom (Shah & Ward, 2007; Liker, 1996), sistemom (Hopp & Spearman, 2004; Womack & Jones, 1994). Kao ciljevi primene lin pristupa su, između ostalog identifikovani povećanje kvaliteta proizvoda (Liker & Wu, 2000; Krafcik, 1988), smanjenje troškova (Hayes & Pisano, 1994), smanjenje vremena isporuke (Liker, 1996), integracija razvoja proizvoda, lanaca snabdevanja i operacionog menadžmenta (Womack et al., 1990). Kao oblasti delovanja lin pristupa su, između ostalih, identifikovani razvoj proizvoda (Krafcik, 1988), upravljanje operacijama (Narasimhan et al., 2006), upravljanje lancima snabdevanja (Womack et al., 1990), upravljanje ljudskim elementom u organizaciji (Shah & Ward, 2003).

Shah & Ward (2007) smatraju da lin pristup postoji na dva nivoa: filozofskom, i praktičnom, odnosno operativnom. Filozofski nivo obuhvata lin principe i ciljeve koji se žele postići, dok praktični nivo obuhvata skup operativnih alata pomoću kojih se

ostvaruju ciljevi. Autori kritikuju pristup koji u prvi plan stavlja alate umesto sistema u celini, a koji je dominantan u praksi (Shah & Ward, 2007). U skladu sa tim, Shah & Ward (2007, str. 791) nude konceptualnu definiciju lin pristupa kao „*integrisanog socio-tehničkog sistema čiji je glavni cilj eliminisanje rasipanja kroz paralelno smanjivanje i minimizaciju varijacija kod dobavljača, kupaca, kao i internih varijacija*“.

Postavlja se pitanje u kakvom su odnosu Tojotin proizvodni sistem i lin proizvodnja? Postoji mišljenje da lin pristup ne predstavlja novu proizvodnu paradigmu, već unapređenu i modifikovanu verziju Tojotinog proizvodnog sistema (MIT, 2000). Ovako gledano, može se reći da lin pristup nije ništa drugo do Tojotin proizvodni sistem „za izvoz“. U prilog tvrdnji da je lin pristup u stvari Tojotin proizvodni sistem pod drugim imenom ide i analiza literature koja je objavljena u prvoj polovini 1990-tih godina, gde se može videti da postoji značajno preklapanje u definisanju lin proizvodnje i Tojotinog proizvodnog sistema i njihovih osnovnih koncepata (Papadopolou & Özbayrak, 2005).

4.1.6 Poređenje masovne proizvodnje i lin pristupa

Proizvodni sistemi koji su organizovani po principima lin pristupa se, u poređenju sa proizvodnim sistemima koji su organizovani po principima masovne proizvodnje, ističu u nekoliko karakteristika (Wiendahl et al., 2015):

- Produktivnost – postiže se sistematskim i kontinuiranim eliminisanjem svih vrsta rasipanja;
- Kvalitet – ostvaruje se kroz pouzdane procese koji rezultiraju proizvodima visokog kvaliteta;
- Fleksibilnost – ostvaruje se kroz responzivna radna mesta i radnu snagu;
- Humanost – postiže se vođenjem brige o zaposlenima i korišćenjem njihovog punog potencijala.

U cilju poređenja masovne proizvodnje i proizvodnje organizovane po principima lin pristupa, Womack et al. (1990) analiziraju dva postrojenja za montažu automobila: General Motors-ovo postrojenje u Framinghamu i Tojotinu fabriku za montažu u Takaoki. General Motors-ovo postrojenje je izabrano zato što uključuje sve elemente

***Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema***

koji su karakteristični za masovnu proizvodnju (Womack et al., 1990). Rezultati poređenja su sumirani u Tabeli 10.

Tabela 10. Poređenje masovne i lin proizvodnje na primeru General Motors-a i Tojote
(prilagođeno iz Womack et al., 1990)

General Motors	Tojota
Veliki broj indirektnih radnika u fabrici koji ne dodaju vrednost	U fabrici su samo direktni radnici koji dodaju vrednost
Velike količine zaliha nedovršene proizvodnje na montažnoj liniji (nekoliko nedelja)	Male količine zaliha nedovršene proizvodnje na montažnoj liniji (nekoliko sati)
Neravnomerna raspoređenost posla između radnih mesta	Posao ravnomerno raspoređen na radna mesta u liniji
Velika količina neusaglašenih proizvoda (koji zauzimaju dosta prostora u fabrici)	Samo usaglašeni proizvodi napuštaju liniju, otkrivaju se i eliminišu uzroci lošeg kvaliteta
Demoralisani radnici	Visok radni moral među zaposlenima

U Tabeli 11 je dato poređenje masovne i lin proizvodnje po karakteristikama podsistema proizvodnih sistema.

Proizvodni sistemi organizovani prema principima masovne proizvodnje problem efikasnosti rešavaju u okviru odnosa obima i troškova sa jedne strane, i obima i prihoda sa druge. Posledica toga je da se teži proizvesti što je moguće više komada po jedinici vremena. Za unapređenje efikasnosti se koristi optimizacija, kojom se dolazi do rešenja koja se smatraju najboljim za kompaniju. Sa druge strane, često ta rešenja stvaraju konflikt između tržišta i kompanije, odnosno interno između prodaje i proizvodnje zbog razdvojenosti ciklusa proizvodnje i ciklusa prodaje. Fiksni troškovi su visoki, zbog skupe opreme koja se koristi, dok su varijabilni troškovi niski zbog malog broja izmene serija, pa ukupni troškovi proizvodnje u najvećoj meri zavise od stepena iskorišćenja kapaciteta. Fleksibilnost proizvodne opreme je niska. Tražnja se smatra izuzetno stabilnom, pa se proizvodnja radi na osnovu predviđanja i budžetiranih planova koji se rade za dugačak vremenski period. Radnici su autoritativno vođeni, i njihova kreativnost je ograničena. Odluke se donose na visokom nivou, a nivo komunikacije je nizak.

***Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema***

Tabela 11. Poređenje masovne i lin proizvodnje po karakteristikama podsistema
proizvodnih sistema

Podsistemi proiz. sistema	Masovna proizvodnja	Lin (repetitivna) proizvodnja
Proizvod	Homogeni skup standardnih proizvoda, uz nisku diferencijaciju i prilagođavanje zahtevima kupaca; obimi proizvodnje izuzetno veliki u odnosu na ukupan obim izlaza iz proizvodnog sistema	Relativno heterogen skup proizvoda, uz viši nivo diferencijacije i varijantnost koja se postiže kombinovanjem standardnih modula ili komponenti; obimi proizvodnje relativno veliki u odnosu na ukupan obim izlaza iz proizvodnog sistema
Tehnički podsistem	Korišćenje specijalizovane i skupe proizvodne opreme, uz nisku fleksibilnost; tok materijala je usmeren i brz, a zalihe gotovih proizvoda velike	Korišćenje univerzalne opreme koja je relativno jeftina, uz povećanu fleksibilnost; tok materijala je brz, a protočna vremena kratka, dok su zalihe gotovih proizvoda niske
Socijalni podsistem	Strogo vođeni radnici sa uskim nivoom potrebnih znanja, angažovani na izvođenju uskog skupa operacija; kreativnost radnika ograničena autoritativnim vođenjem	Radnici sa širokim skupom znanja za izvođenje više različitih operacija; promenljive pozicije uz akcenat na timskom radu; opunomoćeni radnici uz insistiranje na kreativnosti
Organizacioni podsistem	Proizvodnja za skladište uz orijentaciju na rezultate; autoritativno donošenje odluka na visokom nivou; nizak nivo organizacione komunikacije	Proizvodnja za skladište, montaža po porudžbini ili proizvodnja po porudžbini uz orijentaciju na procese; participativno donošenje odluka na najnižem nivou, visok nivo organizacione komunikacije

Repetitivni proizvodni sistemi organizovani prema principima lin pristupa su nastali u uslovima izmenjenih zahteva kupaca, kao i izmenjenih finansijskih mogućnosti proizvođača. Na tržištu se javila tražnja za različitim varijantama proizvoda, u obimima koji ne opravdavaju masovnu proizvodnju. Teži se proizvodnji samo onoga što je potrebno, ni prerano ni prekasno. U takvim uslovima je prepoznato da se efikasnost proizvodnje može unaprediti kroz unapređenje fleksibilnosti proizvodnje. Petrović navodi da se fleksibilnost postiže unapređenjem produktivnosti kapitala, povećanjem ekonomičnosti proizvodnje u malim serijama, poboljšanjem kvaliteta proizvoda, boljom iskorišćenošću postojećih resursa, lakim prilagođavanjem proizvodnje zahtevima za izmenu proizvoda, većom integracijom proizvodnih procesa i oslobađanjem ljudi monotonog i opasnog rada (Levi-Jakšić et al., 1994). Fleksibilna proizvodnja podrazumeva proizvodnju za poznatog kupca, bržu naplatu, manje zalihe gotovih

proizvoda, manje međuoperacione zalihe, manji kapital i brži obrt kapitala, što značajno unapređuje efikasnost proizvodnje. I kod proizvodnih sistema organizovanih prema principima lin pristupa se proizvodi na osnovu predviđanja, ali su predviđanja česta i na kraći rok, i ažuriraju se podacima o realnoj tražnji. Na taj način se povezuju ciklusi proizvodnje i prodaje, s obzirom da je proizvodnja zasnovana na realnoj tražnji. Fiksni troškovi su niži, zato što se koristi univerzalna oprema, dok se varijabilni troškovi konstantno smanjuju kroz smanjenje troškova izmene serija. Kraće vreme izmene serija obezbeđuje povećanje fleksibilnosti, smanjenje angažovanih sredstava, povećanje raspoloživih kapaciteta i smanjenje troškova proizvodnje. Time se omogućava izrada većeg broja različitih proizvoda u manjim obimima na način koji je ekonomski opravdan. Odluke se donose participativno, na najnižem nivou, gde se razvija kreativnost radnika.

4.1.7 Rezime i zaključci poglavlja

U prethodnom delu istraživanja je kroz analizu relevantne literature prikazan razvoj lin pristupa. Na osnovu rezultata ovog dela istraživanja se mogu izvući sledeći zaključci:

- Masovna proizvodnja je predstavljala dominantan vid proizvodnje automobila u Americi i Evropi;
- Lin pristup svoje korene ima u proizvodnom sistemu koji je nastao u Tojoti nakon drugog svetskog rata u uslovima izmenjenih zahteva kupaca koji su tražili različite proizvode u obimima koji nisu opravdavali masovnu proizvodnju;
- Lin pristup je zasnovan na dva stuba Tojotinog proizvodnog sistema, pravovremenoj proizvodnji i inteligentnoj automatizaciji, i jedna od osnovnih karakteristika lin pristupa je uporan rad na eliminisanju svih oblika rasipanja;
- Prilikom širenja lin pristupa na zapad je definisana repetitivna proizvodnja kao ponavljajuća proizvodnja proizvoda koji su standardni ili čija se varijantnost postiže kombinovanjem standardnih modula, u dužem vremenskom periodu; repetitivni proizvodni sistemi napuštaju proizvodnju u velikim serijama koja je karakteristična za masovnu proizvodnju, uz minimizaciju troškova rada na izmeni alata;

- Repetitivno proizvodno okruženje predstavlja industrijsko okruženje u kojem se lin pristup razvija i napreduje; zbog toga repetitivni proizvodni sistemi mogu da proizvedu veći broj različitih proizvoda na ekonomski opravdan način.

Imajući u vidu iznesene zaključke, može se potvrditi sledeća pojedinačna hipoteza:

H1.1 Lin pristup je razvijen za potrebe repetitivnih proizvodnih sistema

4.2 Pregled karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema

Primaran zahtev za razumevanjem odgovarajućeg načina upravljanja određenim proizvodnim sistemom je klasifikacija posmatranog proizvodnog sistema (MacCarthy & Fernandes, 2000). Jedan od elemenata klasifikacije proizvodnih sistema je i nivo repetitivnosti, i odluka da li će proizvodni sistem biti organizovan kao repetitivan ili nerepetitivan može predstavljati izvor strateške prednosti na tržištu. I jedan i drugi način organizovanja proizvodnih sistema ima svoje prednosti, ukoliko se na pravilan način usaglasi sa varijetetom proizvoda koji se traže na tržištu, kao i količinama proizvoda koji se traže. Na primer, ukoliko na tržištu postoji stalna tražnja za određenom vrstom proizvoda u dužem vremenskom periodu, naefikasnije je proizvodnju organizovati kao repetitivnu. Sa druge strane, ukoliko se traži veliki broj različitih proizvoda u količinama koje su relativno male, i ukoliko je životni vek proizvoda kratak, onda je racionalnije proizvodnju organizovati kao nerepetitivnu. Odluka o organizovanju repetitivnih, odnosno nerepetitivnih proizvodnih sistema je u velikoj meri uslovljena pravilnim razumevanjem njihovih karakteristika.

4.2.1 Karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema – pregled literature

Kako bi se definisao repetitivni proizvodni sistem, neophodno je prvo poći od definisanja repetitivnog proizvoda i repetitivne proizvodnje. Proizvod se može definisati kao repetitivan ukoliko se na njegovu proizvodnju troši značajan procenat godišnjeg raspoloživog kapaciteta proizvodne jedinice (MacCarthy & Fernandes, 2000; Spencer & Cox, 1995). Repetitivna proizvodnja predstavlja ponovnu proizvodnju istih proizvoda ili familija proizvoda. Repetitivnim proizvodnim sistemom se smatra onaj proizvodni

sistem kod kojeg najveći deo ukupnog obima proizvodnje (preko 70%) predstavljaju repetitivni proizvodi (MacCarthy & Fernandes, 2000; White & Prybutok, 2001).

Repetitivna proizvodnja je pojam koji je relativno novog datuma. U širu upotrebu je ušao ranih 1980-tih godina pod okriljem Američkog društva za proizvodnju i upravljanje zalihama (*APICS*), koje je 1981. godine formiralo radnu grupu pod nazivom *Repetitive Manufacturing Group (RMG)*, u cilju analize i izučavanja proizvodnih tehnika koje su razvijene u Japanu, konkretno u Tojoti. Pojam repetitivne proizvodnje se koristio i ranije, ali tek sporadično, i na značaju dobija sa povećanjem interesovanja za Tojotin proizvodni sistem. Grupa je održala 1981. godine radni sastanak u fabrici motora Kawasaki u gradu Linkoln, država Nebraska, gde je učesnicima bio predstavljen Kawasaki proizvodni sistem, koji je zapravo bio klon Tojotinog proizvodnog sistema. Učesnici sastanka su, između ostalog, bili i Schonberger i Hall, koji će i sami kasnije napisati knjige koje su veoma značajne za popularizaciju Tojotinog proizvodnog sistema. Sastanak je značajan još i zbog formulacije proizvodnog okruženja koje je pogodno za primenu Tojotinog proizvodnog sistema. Schonberger (1982a) i Hall (1983) su opisali repetitivno proizvodno okruženje, za koje su smatrali da je neophodno kako bi se ostvarile koristi od primene Tojotinog proizvodnog sistema i pravovremene proizvodnje. Schonberger (1982a) repetitivnu proizvodnju definiše kao „proizvodnju automobila, kamera, potrošačke elektronike i drugih proizvoda koji se na *repetitivan* način proizvode u velikim obimima“, i smatra da repetitivna proizvodnja predstavlja proizvodno okruženje u kojem se pravovremena proizvodnja i upravljanje ukupnim kvalitetom najbolje razvijaju. Hall (1983) definiše repetitivnu proizvodnju kao „izradu, obradu, montažu i testiranje proizvoda koji su standardizovani, ili su sastavljeni od standardizovanih komponenti“. Pored toga, Hall (1983) ističe da je repetitivno proizvodno okruženje ono u kojem materijal putuje (teče) ustaljenom putanjom pri stabilnoj brzini. Ovakve definicije su značajno uticale i na druge istraživače Tojotinog proizvodnog sistema, koji su u svojim istraživanjima usvojili karakteristike repetitivnog proizvodnog sistema koje su definisali Schonberger i Hall. I *APICS* se prilikom definisanja repetitivne proizvodnje oslanja na principe koje su postavili Schonberger i Hall, i definiše repetitivnu proizvodnju na sledeći način (Blackstone & Jonah, 2013):

Repetitivna proizvodnja je ponovna proizvodnja istih proizvoda ili familija proizvoda. Repetitivna metodologija minimizuje podešavanja opreme, zalihe i proizvodna protočna vremena kroz korišćenje proizvodnih linija, montažnih linija ili proizvodnih ćelija... Proizvodi su standardni, ili sastavljeni od standardizovanih modula.

Ono što se ističe u nekim definicijama repetitivne proizvodnje je da je izlaz iz proizvodnje izdvojen, odnosno diskretni proizvod. Ovo se čini kako bi se eliminisala mogućnost da se repetitivna proizvodnja u nekim slučajevima pomeša sa kontinualnom proizvodnjom koja je karakteristična za procesnu industriju, gde se izlaz iz proizvodnje ne meri u individualnim komadima (na primer, kod proizvodnje gasova, fluida, zrnastih proizvoda i slično; ipak, treba napomenuti da i kod kontinualne proizvodnje izlaz mogu biti izdvojeni proizvodi, kao na primer kod proizvodnje sijalica).

Repetitivni proizvodni sistemi su pogodni za okruženje u kojem tražnja za proizvodima varira i nije u potpunosti predvidiva. Obimi koji se traže su manji i životni ciklus proizvoda je kraći, pa nije racionalno uspostaviti sistem koji je pogodan za proizvodnju samo jednog proizvoda, odnosno sistem masovne proizvodnje. Varijetet proizvoda koji se nude, a za kojim postoji ponovna tražnja u posmatranom vremenskom periodu (koja obezbeđuje repetitivnost), zahteva da se različiti proizvodi proizvode na istoj proizvodnoj opremi, što zahteva organizovanje repetitivnih proizvodnih sistema na način koji je različit od onog na koji su organizovani proizvodni sistemi za masovnu proizvodnju. Da bi se omogućila proizvodnja različitih proizvoda na istoj proizvodnoj opremi, repetitivni proizvodni sistemi moraju imati izraženu fleksibilnost. Fleksibilnost se postiže korišćenjem univerzalne i fleksibilne proizvodne opreme, koja je pogodna za brzu promenu alata u cilju obrade različitih predmeta rada, a kojom upravljaju operateri koji su obučeni za izvršavanje više različitih operacija. Fiksni trošak koji nastaje prilagođavanjem mašina brzom izmeni alata se kompenzuje niskim varijabilnim troškom koji je vezan za izmenu alata (Schonberger, 1982b).

U pregledu literature, Spencer & Cox (1995) identifikuju šest dominantnih karakteristika repetitivnih proizvodnih sistema:

- Veliki obim proizvodnje;

- Fiksni redosled operacija;
- Specifičan raspored opreme;
- Standardizovani proizvodi;
- Proizvodnja zasnovana na brzini (ritmu); i
- Standardizovani moduli.

Isticanje obima proizvodnje kao definišuće karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema može dovesti do pogrešnih zaključaka. Na primer, u okruženjima gde je obim proizvodnje mali zato što su vremena proizvodnje velika (na primer, proizvodi se nekoliko komada proizvoda mesečno, kao u avionskoj industriji), ali gde sistem proizvodi samo jedan tip proizvoda, takođe se radi o repetitivnim proizvodnim sistemima. Zato Spencer & Cox (1995) navode da bi obim trebalo posmatrati kao proizvod količine koja je proizvedena i količine rada koji je utrošen za proizvodnju te količine proizvoda. Tako definisan obim proizvodnje se može smatrati karakteristikom repetitivnih proizvodnih sistema, ali svakako ne jedinom i definišućom.

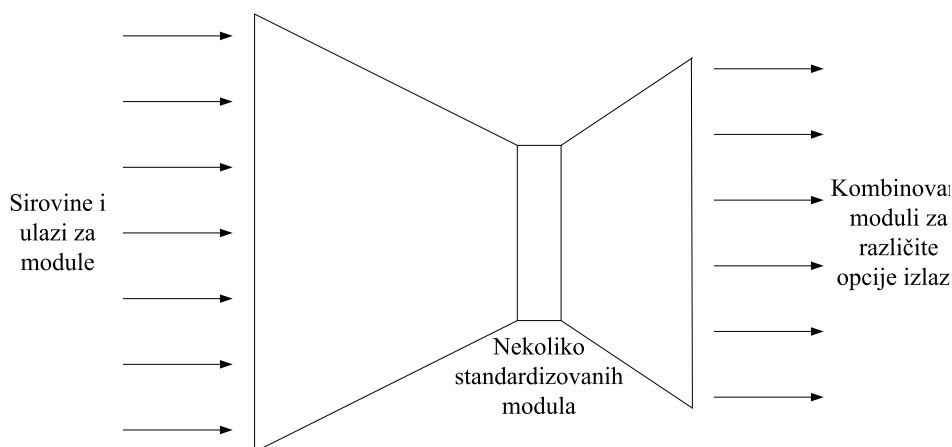
Kod repetitivnih proizvodnih sistema, proizvodni proces je fokusiran na ponavljanje. Proizvodi istog tipa uvek prolaze kroz iste radne centre ili ćelije (Didsbury, 1988). Oprema je poredana prema redosledu operacija, koji je najčešće isti za sve proizvode ili familije proizvoda. Tako raspoređena oprema formira relativno autonomne podsisteme, odnosno proizvodne ćelije i proizvodne ili montažne linije. Mašine u ćelijama i linijama su poredane jedna blizu druge, i tesno su povezane, što omogućava organizovanje proizvodnog procesa na način koji obezbeđuje neometani u uniformni tok u proizvodnji, od sirovog materijala do gotovih proizvoda (De Toni & Panizzolo, 1993). Ovakav način organizovanja proizvodnog procesa pomera fokus sa delova i elemenata proizvodnog procesa na proizvodni proces u celini, gde cilj nije maksimizovati efikasnost pojedinih faza procesa, već obezbediti veliku brzinu protoka kroz ceo sistem (Schonberger, 1986). Proizvodne ćelije i montažne linije su najčešće višepredmetne, što zahteva fleksibilnost proizvodne opreme. Obezbeđivanje fleksibilnosti proizvodne opreme postaje fokalna tačka, dok efikasnost (na primer, izražena kroz stepen korišćenja kapaciteta) prelazi u drugi plan. Pored korišćenja univerzalne opreme, fleksibilnost se postiže i aktivnostima na boljoj organizaciji proizvodnje (brza izmena alata, proizvodnja u malim serijama, uravnoteženje opterećenja i slično). Repetitivni proizvodni sistemi u najvećoj meri

grade tehnološku fleksibilnost (fleksibilna oprema i/ili efikasna promena alata) (Levi-Jakšić et al., 1994; Wiendahl et al., 2015). Spencer & Cox (1995) navode da se repetitivna proizvodnja može organizovati i na drugi način, kroz funkcionalan raspored opreme i proizvodnju orijentisanu na pojedinačne procese, ali da bi takav način organizovanja repetitivne proizvodnje bio neracionalan, a proizvodnja neefikasna.

Tok materijala u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je najčešće uniforman i neprekidan, ali može biti i prekidan. U obe varijante je tok usmeren, i mogu se prepoznati radni centri koji su „uzvodno“ i radni centri koji su „nizvodno“. Kod neprekidnog toka se različiti proizvodi proizvode mešovito u posmatranom vremenskom periodu, brzinom koja je uniformna, i koja je sinhronizovana sa tražnjom. Nerepetitivni proizvodni sistemi pokušavaju da masovno proizvedu skup različitih proizvoda čiji pojedinačni obimi ne moraju biti veliki, gde konfiguracija i fleksibilnost proizvodnog sistema omogućavaju da se različiti proizvodi posmatraju kao jedan. Kod repetitivnih proizvodnih sistema sa prekidnim kretanjem predmeta rada se najčešće mogu prepoznati odvojene serije različitih proizvoda, i ovakve proizvodne linije se često nazivaju višepredmetne, dok se proizvodne linije koje imaju neprekidni tok kretanja predmeta rada nazivaju višepredmetne linije za kombinovanu proizvodnju. Kretanje materijala kroz proces proizvodnje je relativno brzo i konstantno, i najčešće se meri u satima ili danima (Heizer & Render, 2011). Upravo održavanje neometanog i brzog toka u cilju proizvodnje planirane dnevne količine proizvoda postaje primarni zadatak upravljanja proizvodnjom, i praćenje pojedinih poslova ili porudžbina nije od velikog značaja. Brz tok materijala kroz proizvodni proces dovodi do toga da se proizvodnja raspoređuje i prati najčešće kroz broj jedinica proizvoda koje treba napraviti u određenom vremenskom intervalu, a ređe kroz radne naloge (u smislu vrste i količine proizvoda koje treba proizvesti po radnom nalogu) (Didsbury, 1988; De Toni & Panizzolo, 1993; Spencer & Cox, 1995). Tempo proizvodnje, definisan količinom proizvoda koju treba proizvesti u određenom vremenskom periodu (najčešće u toku dana), i tokovi materijala kroz proizvodnju postaju glavni objekti kontrole u repetitivnoj proizvodnji (De Toni & Panizzolo, 1993). Zadatak menadžmenta je da obezbedi dobru sinhronizaciju materijalnih tokova, i da sprovodi korektivne mere koje su zasnovane na rezultatima praćenja toka materijala kroz proizvodnju. Zbog brzog toka materijala kroz proizvodnju, prikupljanje informacija koje su neophodne za kontrolu proizvodnje se

najčešće obavlja na kontrolnim tačkama, koje predstavljaju završetke određenih faza proizvodnje, a ne nakon svake operacije, što je karakteristično za radioničku proizvodnju (De Toni & Panizzolo, 1993). Materijal, delovi i komponente koje ulaze u finalni proizvod se takođe najčešće planiraju na osnovu dnevne potrošnje (De Toni & Panizzolo, 1993). Radi se samo na proizvodima koji su zaista potrebni (pravovremena proizvodnja) i u redosledu u kojem su potrebni (najčešće uz korišćenje FIFO principa, koji eliminiše potrebu za dispečiranjem) (Didsbury, 1988).

Proizvodi (ili familije proizvoda) su kod repetitivnih proizvodnih sistema standardni, ili su izrađeni kombinacijom standardnih komponenti (kombinovanjem standardnih komponenti i modula se može dobiti relativno veliki broj opcija izlaza iz proizvodnje) (Spencer & Cox, 1995; Heizer & Render, 2011). Standardni proizvod zahteva tražnju koja se u dužem vremenskom periodu malo menja i relativno je predvidiva, ali nije u obimima koji opravdavaju masovnu proizvodnju. Stabilna tražnja omogućava repeticiju u proizvodnji, kao i to da vremenski okvir za promenu proizvoda bude relativno veliki (na primer, godinu dana ili više). Pored toga, male promene u tražnji i predvidivost olakšavaju planiranje proizvodnje. Nepromenljivost proizvoda u dužem vremenskom periodu kao posledicu ima to da su ukupni obimi proizvodnje u posmatranom periodu relativno veliki (Stevenson, 2006). Pored toga, ponavljanje procesa proizvodnje u dužem vremenskom periodu omogućava da se proces stabilizuje, što rezultira standardnim (visokim) kvalitetom proizvoda. Šematski prikaz toka materijala u repetitivnom proizvodnom sistemu je dat na Slici 5 (prema Heizer & Render, 2011; autori navode da je dat prikaz tipičan za montažu automobila).



Slika 5. Proizvodni proces sa fokusom na ponavljanje (Heizer & Render, 2011)

Na slici je prikazan način na koji se ulazi transformišu u izlaze u repetitivnim proizvodnim sistemima. Ulaz predstavljaju sirovine, koje se transformišu u komponente i module koji su neophodni za dalju montažu finalnih proizvoda. Ulaz mogu predstavljati i gotovi moduli, koji se nabavljaju od kooperanata. Moduli se prethodno pripremaju (proizvode) često po principima masovne proizvodnje (Heizer & Render, 2011). Repetitivnost se često postiže smanjivanjem broja standardnih modula i komponenti, dok se varijetet postiže razvijanjem različitih načina kombinovanja standardnih komponenti i modula.

Repetitivni proizvodni sistemi napuštaju proizvodnju u velikim serijama. Cilj je postići proizvodnju bez serija, odnosno jednokomadni tok u proizvodnji, što predstavlja ideal kojem se teži (Schonberger, 1982b). U repetitivnoj proizvodnji se teži eliminaciji međufaznih skladišta, čiji je zadatak da odvoje jednu fazu proizvodnje od druge. Snižavanje zaliha nedovršene proizvodnje se postiže upotrebom tehnika pravovremene proizvodnje. Gde god je moguće (najčešće u ćelijama), proizvodnja se organizuje po principima jednokomadnog toka, dok se tamo gde jednokomadni tok nije moguć (najčešće između pojedinih faza proizvodnje) drži minimalna količina zaliha, a materijalni tok se kontroliše upotrebom sistema vučenja proizvodnje. U repetitivnoj proizvodnji se teži smanjivanju zaliha sirovina i gotovih proizvoda na najmanju moguću meru. Kontrola zaliha gotovih proizvoda se takođe obavlja tehnikama pravovremene proizvodnje, gde se proizvodnja usaglašava sa dnevnom tražnjom (pomoću takta i uravnoteženja opterećenja). Zalihe sirovog materijala se kontrolišu pravovremenom nabavkom, gde se često koristi sistem vučenja za kontrolu nabavke, dok se saradnja sa dobavljačima uspostavlja na principima partnerstva. Zahtevi za materijalom su usklađeni sa tražnjom, i kao i tražnja su stabilni i relativno predvidivi.

Repetitivnost u proizvodnji smanjuje promene koje se javljaju u radnim instrukcijama. To smanjuje vreme koje je potrebno za obuku radnika, i omogućava da se radnici lakše obučavaju za izvršavanje više operacija, odnosno da se proširi skup znanja koja radnici poseduju. Ovo otvara mogućnost za formiranje multifunkcionalnih timova, što predstavlja jedan od preduslova za ostvarivanje fleksibilnosti proizvodnje. Učešće ljudskog rada je relativno malo, što omogućava radnicima da svoja znanja usmere ka unapređenju proizvodnog procesa.

U pogledu proizvodne strategije, nije jednostavno definisati skup koji je karakterističan za repetitivnu proizvodnju. White & Prybutok (2001) navode kako repetitivni proizvodni sistemi najčešće biraju strategije proizvodnje za skladište (*eng. make to stock*) ili montaže po porudžbini (*eng. assembly to order*). Međutim, postoje slučajevi kada repetitivni proizvodni sistemi biraju strategiju proizvodnje po porudžbini (*eng. make to order*) (Spencer & Cox, 1994).

Ne zanemarujući niske troškove po jedinici proizvoda, osnovni cilj repetitivnih proizvodnih sistema je efikasno korišćenje proizvodnih resursa uz maksimalno zadovoljenje potreba korisnika, izraženih kroz zahteve za kvalitetom i pravovremenom isporukom, ključni zadatak prilikom projektovanja ovakvih proizvodnih sistema je obezbeđivanje mogućnosti proizvodnje različitih proizvoda u istom vremenskom periodu, uz tražnju koja varira, ali je pretežno predvidiva.

4.2.2 Karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema

Kao i kod repetitivnih proizvodnih sistema, kod definisanja nerepetitivnih proizvodnih sistema treba početi od definisanja nerepetitivnog proizvoda. Proizvod se može definisati kao nerepetitivan ukoliko se na njegovu proizvodnju troši mali procenat ukupnog godišnjeg raspoloživog kapaciteta proizvodne jedinice (MacCarthy & Fernandes, 2000; Spencer & Cox, 1995). Nerepetitivnim proizvodnim sistemom se smatra onaj proizvodni sistem kod kojeg najveći deo ukupnog obima proizvodnje (preko 70%) predstavljaju repetitivni proizvodi (MacCarthy & Fernandes, 2000; White & Prybutok, 2001). MacCarthy & Fernandes (2000) navode da su procenti koji se koriste za definisanje repetitivnih, odnosno nerepetitivnih proizvodnih sistema okvirno postavljeni, ali da precizno reflektuju iskustvo koje su autori imali sa proizvodnim sistemima u praksi.

Dinamično tržište forsira uspostavljanje i organizovanje nerepetitivnih proizvodnih sistema. Velika većina globalne proizvodnje otpada na nerepetitivnu proizvodnju, odnosno proizvodnju velikog varijeteta različitih proizvoda koji se u relativno malim obimima (obimi pojedinačnih proizvoda u odnosu na ukupne obime proizvodnih sistema) proizvode u radioničkim uslovima (Heizer & Render, 2011).

Bortolotti et al. (2013) navode da su dve osnovne karakteristike nerepetitivne proizvodnje nepredvidivost i turbulentnost tražnje i prilagođavanje proizvoda prema zahtevima kupca. Na tržištu se traže jedinstveni proizvodi koji se (najčešće) ranije nisu proizvodili. To znači da je tražnju teško predvideti ili identifikovati pre nego što se zaista dogodi. Nepredvidivost i varijacije u tražnji kao posledicu imaju nestalnost u miksu proizvoda koji se nudi, kao i u obimu proizvodnje (Jina et al., 1997). Obimi mogu biti različiti, ali su za pojedine poslove najčešće mali, u poređenju sa ukupnim izlazom iz proizvodnog sistema (Spencer & Cox, 1995). Uzroci nestalnosti su varijacije u količini proizvoda koji je potrebno proizvesti sa svakom novom narudžbinom, kao i u vremenu u kojem novi poslovi pristižu. Posledica toga su situacije u kojima ima više zaliha sirovog materijala (kao i međuoperacionih zaliha i zaliha gotovih proizvoda) nego što je potrebno, kao i situacije u kojima nedostaje sirovog materijala (ili gotovih proizvoda), u zavisnosti od toga kolika je tražnja (Fynes et al., 2004; Bozarth et al., 2009; Bortolotti et al., 2013). Vreme reagovanja na zahtev korisnika je duže nego u repetitivnim proizvodnim sistemima, i najčešće se sastoji od vremena potrebnog za nabavku sirovog materijala, vremena proizvodnje proizvoda i vremena potrebnog za isporuku gotovih proizvoda (MacCarthy & Fernandes, 2000). S obzirom da se nabavka sirovog materijala najčešće inicira u momentu kada je zahtev korisnika za proizvodnjom određenog proizvoda izvestan, varijacije u tražnji uvećavaju kompleksnost čitavog lanca snabdevanja, s obzirom da je koordinacija u lancu snabdevanja slabija nego kod repetitivne proizvodnje (Fynes et al., 2004).

Druga značajna karakteristika je prilagođavanje proizvoda prema zahtevima kupca (Holweg, 2005; Bortolotti et al., 2013). Proizvodi koje proizvode nerepetitivni proizvodni sistemi su izrazito prilagođeni zahtevima korisnika. Ta prilagođenost znači da su korisnici direktno uključeni u specificiranje i prilagođavanje proizvoda. Prilagođavanje proizvoda može biti na nekoliko nivoa (Amaro et al., 1999):

- Čisto prilagođavanje – proizvodnja potpuno novih proizvoda;
- „Skrojeno“ prilagođavanje – modifikacije postojećih proizvoda;
- Standardizovano prilagođavanje – ponuda manjeg broja varijacija standardnih proizvoda;
- Bez prilagođavanja – ponuda standardnih proizvoda.

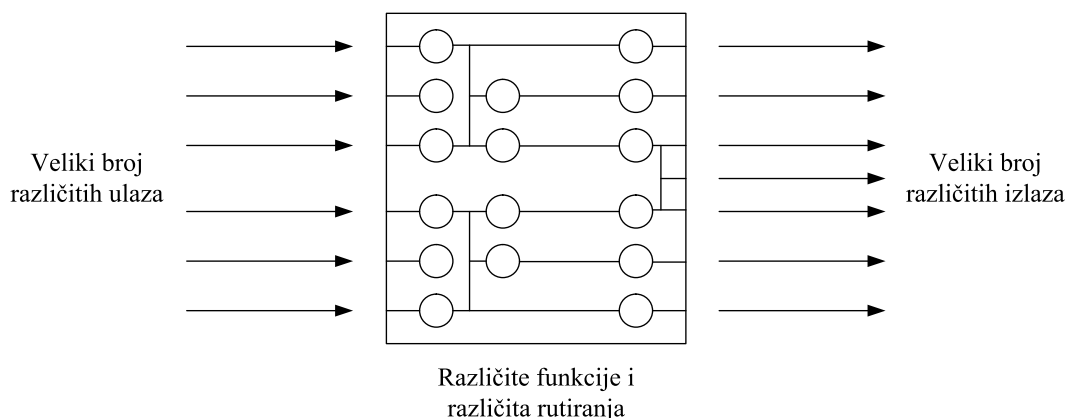
Jina et al. (1997) navode da je jedna od osnovnih karakteristika nerepetitivnog proizvodnog okruženja turbulentnost, koja se, u ovom slučaju, definiše kao stanje sistema koje, kao rezultat varijacija i neizvesnosti ulaza u sistem, prouzrokuje da sistem počne da se ponaša na nepredvidiv i ne optimalan način, dok se bori da ostvari rezultate koji se od njega očekuju (Bhattacharya et al., 1996). Jina et al. (1997) su identifikovali četiri uzroka turbulentnosti, koji su karakteristični za nerepetitivnu proizvodnju:

- Raspored proizvodnje – promene u rasporedu proizvodnje postaju značajnije kako se približava rok isporuke proizvoda;
- Miks proizvoda – tipično za nerepetitivnu proizvodnju je da miks proizvoda koji se proizvode može značajno da varira u dva različita vremenska perioda;
- Obim proizvodnje – slično miksu proizvoda, obim proizvodnje može značajno da varira u dva različita vremenska perioda;
- Dizajn proizvoda – dizajn proizvoda može da varira od proizvoda do proizvoda, i nisu retke situacije da se dizajn proizvoda menja u momentu kada je posao već pogođen.

Nerepetitivni proizvodni sistemi su organizovani oko aktivnosti, odnosno procesa (Heizer & Render, 2011). Aktivnosti i procesi su funkcionalno organizovane, gde je proizvodna oprema najčešće grupisana prema nameni, i gde isti ili slični resursi često čine jedinstvenu grupu kapaciteta ili radni centar (Papadopoulou & Özbayrak, 2005). To znači da su nerepetitivni proizvodni sistemi procesno (ili funkcionalno) orijentisani, u smislu tipa opreme koja se koristi, njenog rasporeda, i načina upravljanja. Ovakav način organizacije pojačava „siloski“ način razmišljanja, gde je otežana integracija različitih funkcionalnih delova u kompaniji (Hicks et al., 2000).

Oprema koja se koristi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je univerzalnog tipa, što obezbeđuje visok nivo fleksibilnosti (viši nego kod repetitivnih proizvodnih sistema). Fleksibilnost proizvodnog sistema se, pored korišćenja univerzalne opreme, gradi i kroz fleksibilan tok materijala i operacija (fleksibilnost putanje materijala, odnosno mogućnost različitog redosleda odvijanja operacija) (Levi-Jakšić et al., 1994; Wiendahl et al., 2015). Tehnološka i organizaciona fleksibilnost, u smislu efikasne izmene alata i podešavanja mašina, su u drugom planu, iako izmene alata mogu biti česte. Posledica toga je često grupisanje proizvodnje, kroz spajanje poslova koji su slični, što može

negativno uticati na prirodan tok materijala kroz proizvodnju. Svaki proces je projektovan tako da može da izvrši širok skup aktivnosti. White & Prybutok (2001) navode da su procesi u nerepetitivnoj proizvodnji najčešće projektnog ili radioničkog tipa. Nerepetitivni proizvodni sistemi se često tretiraju kao takozvane „čiste“ radionice (*eng. pure job shop*), koje podrazumevaju da je redosled operacija različit za različite proizvode, kao i da ne postoji apsolutno nikakva usmerenost toka obrade u radionici. Ovakva konfiguracija proizvodnje ostavlja najviše prostora za prilagođavanje proizvoda. Oosterman et al. (2000) smatraju da je ovakva konfiguracija retka u praksi, i da je realnije susresti se sa takozvanom „opštom“ radionicom (*eng. general job shop*), koja dozvoljava da različiti proizvodi mogu da se kreću u različitim pravcima u toku proizvodnje, ali prepoznaje tok koji je dominantan za većinu proizvoda, odnosno može se reći da postoji određena usmerenost toka proizvodnje (Enns, 1995). Pored navedenih konfiguracija, u praksi se sreću i radionice sa „čistim“ tokom (*eng. pure flow shop*), kod kojih svaki proizvod prolazi kroz svaki radni centar, uvek u istom smeru (što ostavlja najmanje prostora za prilagođavanje proizvoda), kao i radionice sa „opštim“ tokom (*eng. general flow shop*), gde proizvodi ne moraju da posete svaki radni centar, ali se kroz proizvodnju kreću uvek u istom smeru. Kod radionica sa čistim ili opštim tokom postoje operacije, odnosno radni centri koji predstavljaju ulaz u proizvodnju, i kod ovakve konfiguracije se mogu identifikovati radni centri koji su „uzvodno“, odnosno „nizvodno“ u procesu proizvodnje. Kod „čiste“ radionice se ne može identifikovati ulazni radni centar, i ne može se reći koji radni centri su „uzvodno“, odnosno „nizvodno“. Portioli (2002) smatra da konfiguracija nerepetitivnog proizvodnog sistema najčešće leži između dve krajnosti, odnosno između „čiste“ radionice i radionice sa „čistim“ tokom. Tok materijala u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je prekidan, i posledično znatno sporiji nego u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. S obzirom da putanje predmeta rada kroz proizvodnju mogu biti slučajne, kontrola toka materijala i dispečiranje su vrlo značajni, ali i otežani zbog kompleksnosti i netransparentnosti proizvodnog sistema. Materijal se kroz proizvodnju kreće u količinama koje su jednake količinama koje su poručene). Upravljanje proizvodnjom predstavlja pronalaženje kompromisa između zaliha, raspoloživih kapaciteta, i zadovoljenja zahteva korisnika. Šematski prikaz toka materijala u nerepetitivnom proizvodnom sistemu je dat na Slici 6 (prema Heizer & Render, 2011).



Slika 6. Funkcionalno orijentisani proizvodni proces (veliki miks proizvoda, mali obimi proizvodnje) (Heizer & Render, 2011)

Zalihe nedovršene proizvodnje u nerepetitivnoj proizvodnji mogu biti vrlo velike u poređenju sa ostvarenim izlazom iz proizvodnog sistema. Držanje visokog nivoa zaliha nedovršene proizvodnje se opravdava kompenzovanjem varijacija u samom procesu. Visok nivo zaliha nedovršene proizvodnje odvaja jednu fazu lanca stvaranja vrednosti od druge (na taj način radni centri mogu da kompenzuju varijacije koje se javljaju u drugim radnim centrima), što ostavlja mogućnost izbora kako će se rad organizovati na pojedinim radnim centrima, odnosno omogućava postizanje lokalnih optimuma. Sa druge strane, to povećava redove čekanja ispred radnih centara, što povećava stepen korišćenja kapaciteta, ali i zagušenost sistema, što otežava kontrolu i prikupljanje informacija, i zahteva više napora za koordinaciju. Kao posledica sa javljaju duga i nepredvidiva protočna vremena. Visok nivo međuoperacionih zaliha između faza u lancu snabdevanja daje osećaj nezavisnosti delovima organizacije kod donošenja odluka, nudeći im više opcija kojima mogu da kontrolišu sopstvena ograničenja u ispunjavanju njihovih ciljeva (Portioli-Staudacher & Tantardini, 2012b).

Nije retko da nerepetitivni proizvodni sistemi raspolažu viškom kapaciteta (Portioli-Staudacher & Tantardini, 2012b). Može se reći da je višak kapaciteta očekivan, s obzirom da nije moguće da nerepetitivni proizvodni sistemi viškom zaliha kompenzuju varijacije u tražnji. Stepem korišćenja kapaciteta može da varira, i zavisi od tražnje. Varijacije u tražnji takođe imaju značajan uticaj i na potrebe za sirovim materijalom, što otežava integraciju sa dobavljačima. Nerepetitivni proizvodni sistemi obično imaju ograničen uticaj na svoje dobavljače, najčešće zato što su manji od svojih dobavljača, ili

zato što način proizvodnje (proizvodnja različitih proizvoda) traži da se za svaki novi proizvod definišu nove komponente i novi dobavljači, što onemogućava uspostavljanje dugoročne saradnje sa dobavljačima (White & Prybutok, 2001). Fiksni troškovi nerepetitivnih proizvodnih sistema su niski, dok varijabilni troškovi mogu biti veliki (Heizer & Render, 2011).

Radnici su obično obučeni da obavljaju određeni skup operacija koji je vezan za jedan proces, odnosno funkciju. Radne instrukcije se često menjaju, s obzirom da se i zahtevi za proizvodima menjaju. Ovakav način rada ima najmanje dve posledice:

- Otežava stabilizaciju procesa, što loše utiče na postizanje željenog kvaliteta; i
- Otežava obuku zaposlenih.

Pored toga, nerepetitivni proizvodni sistemi su najčešće mala i srednja preduzeća, pa su resursi za obuku zaposlenih i unapređenje efikasnosti proizvodnje ograničeni.

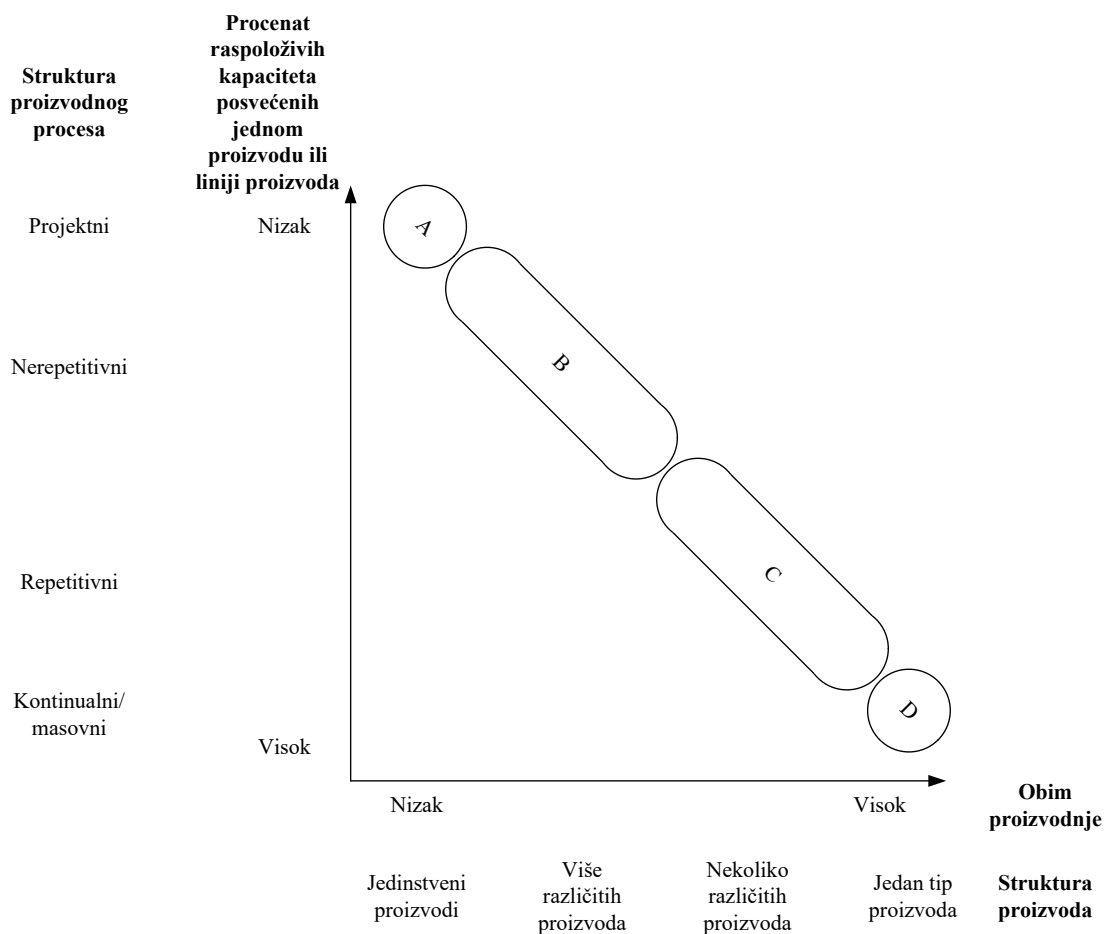
Nerepetitivni proizvodni sistemi gotovo isključivo proizvode prema zahtevima korisnika. To znači da se u pogledu proizvodnih strategija odlučuju za proizvodnju po porudžbini ili projektovanje po porudžbini, ili (nešto ređe) za montažu po porudžbini. Zbog nestalnosti tražnje, specifičnosti zahteva u pogledu karakteristika proizvoda, kao i zbog kratkog životnog veka samih proizvoda, nerepetitivni proizvodni sistemi vrlo retko proizvode za skladište.

Kao i kod repetitivnih proizvodnih sistema, i nerepetitivni proizvodni sistemi kao osnovni cilj imaju postizanje željenog kvaliteta proizvoda uz niske troškove. Pored toga, značajan cilj je postizanje responzivnosti kako bi se zadovoljile različite potrebe korisnika. Ključni zadatak prilikom projektovanja nerepetitivnih proizvodnih sistema je obezbeđivanje agilnosti da se brzo prilagodi promenama u zahtevima za proizvodima. To zahteva fleksibilnu organizaciju, fleksibilan sistem i mogućnost brze rekonfiguracije.

4.2.3 Usporedni pregled karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema

Kada se govori o razlikama između repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema, često se polazi od identifikacije potreba korisnika proizvodne strategije, i definisanja proizvodne strategije kao načina na koji će se zadovoljiti te potrebe, čime će se doprineti ostvarivanju poslovnih ciljeva kompanije. Kompanije biraju svoju strategiju u zavisnosti od prioriteta, odnosno od načina na koji žele da se istaknu u odnosu na konkurenciju. Wheelwright (1984) smatra da se konkurentska prednost može postići kroz četiri dimenzije: (i) cena; (ii) kvalitet; (iii) pouzdanost; i (iv) fleksibilnost. U kojoj će od ovih dimenzija kompanija biti bolja u odnosu na konkurente zavisi od prioriteta same kompanije. Isticanje kroz sve četiri dimenzije može biti opasno (ako je uopšte moguće), i zato kompanija mora pažljivo da utvrdi svoje prioritete i da teži njihovom ostvarenju kroz proizvodnu funkciju. Upravo ta formulacije i specifikacija prioriteta, kao i težnja ka njihovom ostvarenju kroz proizvodnu funkciju, određuju konkurentsku prednost proizvodne funkcije u preduzeću (Wheelwright, 1984).

Kako bi omogućili lakše pozicioniranje proizvodnih sistema u pogledu strategije, Hayes & Wheelwright (1979) su predložili dvodimenzionalnu matricu proizvod-proces, koja pozicionira proizvodni sistem u odnosu na životni ciklus proizvoda i životni ciklus procesa koji stvara taj proizvod. Sa popularizacijom Tojotinog proizvodnog sistema i pravovremene proizvodnje, javila se potreba za modifikacijom matrice koju su predložili Hayes & Wheelwright. Spencer & Cox (1995) su dali predlog revidirane dvodimenzionalne matrice, koja bi trebalo da da jasniji prikaz osnovnih karakteristika proizvodnih sistema, kako repetitivnih tako i nerepetitivnih. Prikaz revidirane matrice proizvod-proces, koju su predložili Spencer & Cox, je dat na Slici 7.



Slika 7. Revidirana dvodimenzionalna matrica proizvod-proces (prilagođeno iz Spencer & Cox, 1995)

Proizvodni sistemi se pozicioniraju u odnosu na četiri promenljive. Na apscisi su prikazani obim proizvodnje (izražen kao proizvod količine proizvoda i vremena koje je utrošeno za proizvodnju posmatrane količine) i varijetet proizvoda koji se nude. Na ordinati je prikazana struktura proizvodnog procesa, odnosno tip proizvodnog sistema u odnosu na obim i varijetet proizvoda, kao i procenat raspoloživih kapaciteta koji su posvećeni proizvodnji jednog tipa ili linije proizvoda. Od posebnog značaja su oblasti B (ova oblast predstavlja nerepetitivne proizvodne sisteme) i C (ova oblast predstavlja repetitivne proizvodne sisteme). Oblast B označava proizvodne sisteme koji proizvode proizvode u relativno malim obimima u poređenju sa ukupnim obimom izlaza iz proizvodnog sistema. Pored toga, procenat ukupnog raspoloživog kapaciteta koji je posvećen jednoj vrsti proizvoda, ili liniji proizvoda je takođe mali. Sa druge strane, varijetet proizvoda koji je proizvodni sistem u stanju da proizvede je veliki, i to

predstavlja jednu od definišućih karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema. Oblast C označava proizvode sisteme koji proizvode proizvode u relativno velikim obimima, a i procenat ukupnog raspoloživog kapaciteta koji je posvećen jednoj vrsti proizvoda ili liniji proizvoda. Veliki obimi proizvodnje, kao i visok procenat kapaciteta koji je posvećen jednom proizvodu ili liniji proizvoda kao posledicu ima to da je broj različitih tipova proizvoda koje proizvodni sistem proizvodi ograničen i manji nego kod nerepetitivnih proizvodnih sistema, i varijetet se postiže različitim kombinovanjem standardnih modula i komponenti koji čine proizvod. Oblast D predstavlja proizvodne sisteme karakteristične za masovnu proizvodnju. Razlika između repetitivnih proizvodnih sistema i proizvodnih sistema u masovnoj proizvodnji, prema matrici koja je data, je ta što proizvodni sistemi u masovnoj proizvodnji proizvode visoko standardizovane proizvode, i to što su svi raspoloživi proizvodni kapaciteti posvećeni proizvodnji jednog proizvoda, ili vrlo uskog skupa različitih proizvoda. Spencer & Cox (1995) navode da je jedan od osnovnih doprinosa revidirane matrice proizvod-proces taj što za proizvodne sisteme na istom dijagramu daje vezu između ulaza i izlaza, odnosno između kapaciteta posvećenog liniji proizvoda i obima u kojem se ta linija proizvoda proizvodi.

Repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi zadovoljavaju potrebe različitih tržišta. U skladu sa tim, njihovi ciljevi su različiti i specifični, pa se i ključni zadaci prilikom projektovanja jedne, odnosno druge vrste proizvodnih sistema razlikuju. U Tabeli 12 je dat uporedni pregled osnovnih karakteristika tražnje, osnovnih ciljeva i ključnih zadataka prilikom projektovanja repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema.

Repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi zadovoljavaju tražnju koja je značajno različita. Iako je kod repetitivnih proizvodnih sistema tražnja donekle varijabilna, ona je ponovljiva. Zahtevi za proizvodnjom se donekle razlikuju, ali se svaki od proizvoda is skupa varijanti koje proizvodi repetitivni proizvodni sistem traži u više navrata u određenom vremenskom periodu. Ovo omogućava predvidivost tražnje, što olakšava planiranje proizvodnje, dok se na varijacije u tražnji odgovara primenom tehnika pravovremene proizvodnje. Kod nerepetitivnih proizvodnih sistema je tražnja mnogo dinamičnija, a time i nepredvidivija. Traže se proizvodi koji su značajno prilagođeni zahtevima korisnika, ili su jedinstveni, i nikada ranije se nisu proizvodili. Proizvodi se

po porudžbini, pa se tražnja može identifikovati onog trenutka kada se desi, što otežava planiranje proizvodnje.

Ciljevi repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema se u određenoj meri podudaraju. I jedan i drugi proizvodni sistem teži maksimalnom zadovoljenju zahteva korisnika, u smislu kvaliteta proizvoda, troškova i rokova isporuke.

Za obe vrste proizvodnih sistema je fleksibilnost vrlo značajna, ali se postiže na različite načine. Fleksibilnost kod repetitivnih proizvodnih sistema treba da obezbedi da se na istim sredstvima za rad u istom vremenskom periodu proizvode različiti proizvodi, uz maksimalno usaglašavanje proizvodnje sa tražnjom. Kod nerepetitivnih proizvodnih sistema je posebno važna responzivnost, odnosno mogućnost da se na brz i efikasan način zadovolje različite potrebe korisnika.

Tabela 12. Uporedni pregled karakteritika tražnje, ciljeva i ključnih zadataka prilikom projektovanja proizvodnih sistema

	Repetitivni proizvodni sistemi	Nerepetitivni proizvodni sistemi
Karakteristike tražnje	Donekle varijabilna, ali u velikoj meri predvidiva tražnja za standardnim proizvodima ili varijantama proizvoda koje nastaju kombinovanjem standardnih modula ili komponenti, uz donekle različite zahteve za proizvodnjom	Nepredvidiva i turbulentna tražnja za proizvodima koji su izrazito prilagođeni zahtevima korisnika, ili koji se nikada ranije nisu proizvodili, gde se tražnja ne može predvideti ili identifikovati pre nego što se zaista dogodi
Osnovni ciljevi	Pravovremena isporuka kvalitetnih proizvoda uz niske troškove, i maksimalno usaglašavanje proizvodnje sa tražnjom	Traženi kvalitet proizvoda uz niske troškove, i obezbeđivanje responzivnosti u cilju zadovoljenja različitih potreba korisnika
Ključni zadaci prilikom projektovanja	Obezbeđivanje fleksibilnosti i efikasnosti, odnosno mogućnosti proizvodnje različitih proizvoda u istom vremenskom periodu	Obezbeđivanje agilnosti, odnosno brzine prilagođavanja nepredvidivim promenama u zahtevima za proizvodima

U Tabeli 13 je dat uporedni pregled repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema po podsystemima proizvodnog sistema, odnosno po elementima koji čine podsysteme proizvodnog sistema, a koji su opisani u drugoj glavi doktorske disertacije, odnosno u nacrtu naučne zamisli istraživanja. Kao što je u nacrtu naučne zamisli objašnjeno, radi potpunijeg poređenja repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema, skupu

***Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema***

podсистема proizvodnog sistema je dodat i izlaz iz sistema, odnosno proizvod, sa svojim karakteristikama, kao element po kojem se vrši poređenje.

Tabela 13. Uporedni pregled karakteristika elemenata repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema

	Elementi	Karakteristike elemenata u repetitivnim proizvodnim sistemima	Karakteristike elemenata u nerepetitivnim proizvodnim sistemima
Proizvod	Konstrukcija proizvoda	Jednostavni proizvodi, ili složeni proizvodi koji zahtevaju montažu	Jednostavni proizvodi, ili složeni proizvodi koji zahtevaju montažu
	Prilagođavanje proizvoda	Standardni proizvodi, ili varijante dobijene različitim kombinovanjem standardnih modula ili komponenti; kasna diferencijacija	Čisto prilagođavanje ili „skrojeno“ prilagođavanje, gde korisnik poptuno ili delimično kontroliše parametre projektovanja proizvoda; rana diferencijacija
	Varijetet proizvoda	Širi skup različitih varijanti proizvoda	Širok skup različitih ili jedinstvenih proizvoda
	Životni ciklus proizvoda	Dugačak, tipično godinu dana ili duže	Kratak, nekada se proizvode jedinstveni proizvodi
	Obim proizvodnje	Relativno veliki, u odnosu na ukupan obim izlaza iz proizvodnog sistema	Mali, u odnosu na ukupan obim izlaza iz proizvodnog sistema
Tehnički podсистem	Tip proizvodne opreme	Univerzalna oprema ili fleksibilni proizvodni sistemi, uz korišćenje specijalizovane pomoćne opreme	Univerzalna oprema opšte namene
	Nivo automatizacije	Normalna ili fleksibilna automatizacija	Normalna ili fleksibilna automatizacija
	Raspored opreme	Grupni, odnosno čelijski raspored; proizvodne i montažne linije	Funkcionalni raspored
	Fleksibilnost opreme	Tehnološka i organizaciona fleksibilnost (izvršavanje različitih operacija na jednoj mašini i efikasna promena alata)	Strukturalna fleksibilnost (fleksibilan tok materijala i operacija; fleksibilnost kretanja materijala, odnosno mogućnost različitog redosleda odvijanja operacija)
	Tok materijala	Jednofazni ili usmeren višefazni neprekidni ili prekidni tok; brz i transparentan protok materijala kroz proizvodnju;	Jednofazni ili usmeren višefazni prekidni tok uz mogućnost preskakanja pojedinih koraka; varijabilni višefazni prekidni tok; spor i netransparentan protok materijala kroz proizvodnju
	Sistem upravljanja tokom materijala	Kanban ili periodična kontrola serija; vučenje proizvodnje; minimalni zahtevi za dispečiranjem	MRP; guranje proizvodnje; jaki zahtevi za dispečiranjem

**Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema**

	Elementi	Karakteristike elemenata u repetitivnim proizvodnim sistemima	Karakteristike elemenata u nerepetitivnim proizvodnim sistemima
	Vrsta bafera (zaliha)	Zalihe sirovog materijala, zalihe nedovršene proizvodnje, zalihe gotovih proizvoda, uz težnju ka eliminaciji sve tri vrste zaliha	Zalihe sirovog materijala i zalihe nedovršene proizvodnje, ili samo zalihe nedovršene proizvodnje
	Vrsta materijala (ulaza)	Predvidive potrebe za užim skupom materijala	Nepredvidive potrebe za širim skupom materijala
Socijalni podsistem	Skup znanja	Širok skup znanja za izvođenje više različitih operacija	Izvođenje različitih operacija u okviru jednog radnog centra
	Ovlašćenja zaposlenih	Opunomoćeni; pouzdani	Zavisni; pasivni
	Zaduženja zaposlenih	Promenljive pozicije	Čvrsta zaduženja
	Organizacija rada zaposlenih	Timski rad ili samorukovodeće grupe	Individualni zadaci, sa ili bez rotacije
	Metod rada	Visoko specificiran i standardizovan	Nisko specificiran, ponekad i <i>ad hoc</i>
	Način vođenja zaposlenih	Opunomoćavanje zaposlenih da sami donose odluke	Autoritativno i striktno vođenje zaposlenih
Organizacioni podsistem	Proizvodna strategija	Proizvodnja za skladište; montaža po porudžbini; proizvodnja po porudžbini	Proizvodnja po porudžbini; projektovanje po porudžbini
	Poslovna orijentacija	Orijentacija ka procesima	Orijentacija ka rezultatima
	Način donošenja odluka	Participativno donošenje odluka	Autoritativno donošenje odluka
	Nivo detalja potreban za donošenje odluka	Nizak nivo detalja	Visok nivo detalja
	Nivo na kojem se donose odluke	Odluke se donose na nižim nivoima	Odluke se donose na visokom nivou
	Vremenski horizont odlučivanja	Dug vremenski horizont	Kratak vremenski horizont
	Neizvesnost u odlučivanju	Manji nivo neizvesnosti	Viši nivo neizvesnosti
	Brzina promena	Dugotrajne i dugoročne promene	Brze i dinamične promene

Proizvod

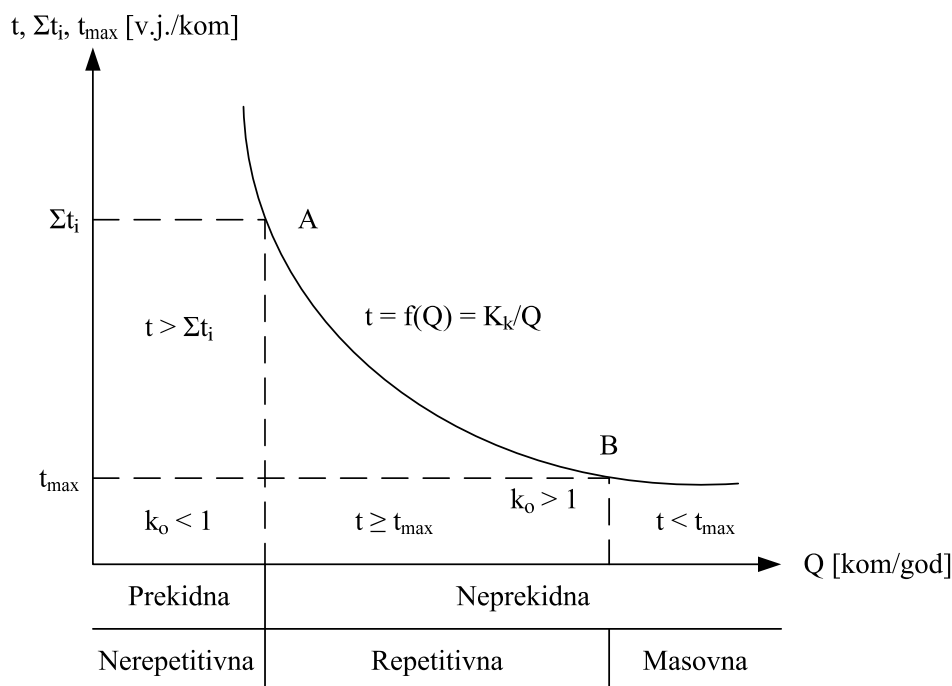
Značajne razlike između repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema su uočljive već kod definisanja karakteristika proizvoda. Repetitivni proizvodni sistemi nude standardni proizvod, ili varijante proizvoda koje nastaju različitim kombinovanjem standardnih modula i komponenti, gde kupac ima organičenu kontrolu nad karakteristikama proizvoda, i gde se diferencijacija tipično dešava u kasnijim fazama proizvodnje. Sa druge strane, kod nerepetitivnih proizvodnih sistema korisnik može da ima punu kontrolu nad karakteristikama proizvoda, gde se diferencijacija proizvoda dešava rano u lancu snabdevanja, vrlo često već u fazi dizajniranja i projektovanja

proizvoda. Zbog toga su proizvodi kod nerepetitivnih proizvodnih sistema visoko prilagođeni zahtevima korisnika, a često su i jedinstveni. Za repetitivnim proizvodima postoji ponovna tražnja u određenom vremenskom intervalu, što zahteva da se značajne količine raspoloživih kapaciteta troše na proizvodnju jedne vrste proizvoda ili linije proizvoda. To rezultira obimima koji su relativno veliki u odnosu na ukupni obim izlaza iz proizvodnog sistema. Životni vek repetitivnih proizvoda je relativno dug (tipično godinu dana ili duže), što znači da je i period u kojem će se proizvoditi ponovno proizvoditi relativno dug. Životni ciklus nerepetitivnih proizvoda je kratak, posebno ako se radi o jedinstvenim proizvodima. To znači da se relativno mali deo ukupnog raspoloživog kapaciteta troši na proizvodnju jedne vrste proizvoda, ali i da su obimi proizvodnje relativno mali, u poređenju sa ukupnim obimom izlaza iz proizvodnog sistema.

Tehnički podsistem

I za repetitivne i za nerepetitivne proizvodne sisteme je fleksibilnost veoma značajna, pa korišćenje univerzalne opreme za proizvodnju predstavlja logičan izbor. Pored toga, i repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi mogu koristiti opremu sa normalnim nivoom automatizacije (gde rad radnika značajno učestvuje u izvođenju operacija) ili sa fleksibilnom automatizacijom, gde je učešće rada mašine veće u izvođenju operacija. Razlike nastaju kod načina na koji je oprema raspoređena. Kod repetitivnih proizvodnih sistema je oprema raspoređena u relativno autonomne podsisteme, odnosno proizvodne ćelije i proizvodne i montažne linije, dok je kod nerepetitivnih proizvodnih sistema dominantan funkcionalan raspored opreme. Fleksibilnost predstavlja važnu komponentu i za repetitivne i za nerepetitivne proizvodne sisteme, ali se ona postiže na različite načine. Repetitivni proizvodni sistemi se oslanjaju na tehnološku fleksibilnost, odnosno mogućnost izvršavanja različitih operacija na jednoj mašini, i organizacionu fleksibilnost, odnosno efikasnu promenu alata. Nerepetitivni proizvodni sistemi se oslanjaju na strukturalnu fleksibilnost, koja podrazumeva fleksibilnost kretanja materijala kroz proizvodnju, odnosno mogućnost različitog redosleda odvijanja operacija. Fleksibilnost kretanja materijala omogućava varijabilni tok materijala kod nerepetitivnih proizvodnih sistema, koji je najčešće prekidnog karaktera. Kod nerepetitivnih proizvodnih sistema tok materijala može biti i usmeren, uz mogućnost

preskakanja pojedinih koraka u procesu proizvodnje. I kod repetitivnih i kod nerepetitivnih proizvodnih sistema tok materijala može biti jednofazni ili višefazni, s tim što je jednofazni tok materijala kod repetitivnih proizvodnih sistema redak. Prekidni karakter toka materijala kod nerepetitivnih proizvodnih sistema kao posledicu ima sporo kretanje predmeta rada kroz proizvodni proces i dugačka protočna vremena. Na Slici 8 je data klasifikacija tipova proizvodnje koju predlaže Radović (2008).



Slika 8. Klasifikacija tipova proizvodnje (prilagođeno iz Radović, 2008)

Radović (2008) za klasifikaciju proizvodnje koristi koeficijent obimnosti, koji se računa kao količnik sume vremena trajanja svih operacija i takta proizvodnje. Iako u nerepetitivnoj proizvodnji matematičko izračunavanje takta može biti problem, logika koju iznosi Radović (2008) se može iskoristiti i za razlikovanje nerepetitivne od repetitivne proizvodnje. Naime, kod nerepetitivne proizvodnje je koeficijent obimnosti manji od jedan, što znači da je vreme između izlaska dva uzastopna proizvoda iz proizvodnje veće od sume vremena trajanja svih operacija. Ovo je posledica upravo prekidnosti toka u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, s obzirom da protočno vreme u ovim proizvodnim sistemima pored sume vremena operacija uključuje i značajnu količinu čekanja na obradu. Kod repetitivnih proizvodnih sistema se teži izjednačavanju maksimalnog vremena trajanja operacije sa taktom, kako bi se pravovremeno

odgovorilo na tražnju i izbegla prekomerna proizvodnja. Iako se takt za nerepetitivne proizvodne sisteme ne može matematički izračunati kao što predlaže Radović (2008) kao količnik raspoloživog kapaciteta i obima proizvodnje, ista logika važi, odnosno obimi proizvodnje pojedinih proizvoda su relativno mali u odnosu na ukupan raspoloživi kapacitet, što govori da je vreme između izlaska dva uzastopna proizvoda u nerepetitivnim proizvodnim sistemima veliko, odnosno je kretanje materijala kroz proizvodnju sporo, a protočna vremena dugačka.

Kod repetitivnih proizvodnih sistema se tok materijala kontroliše sistemom vučenja proizvodnje, dok nerepetitivni proizvodni sistemi najčešće guraju proizvode u proizvodnju uz velike zahteve za dispečiranjem. Stabilnost repetitivnih proizvodnih sistema smanjuje zahteve za dispečiranjem, ili ih potpuno ukida. Zalihe se u procesu proizvodnje mogu naći na tri pozicije: (i) zalihe sirovina, na ulazu u proizvodni proces; (ii) zalihe nedovršene proizvodnje, u samom procesu; i (iii) zalihe gotovih proizvoda, na izlazu iz procesa proizvodnje. U repetitivnim proizvodnim sistemima se zalihe mogu naći na sve tri pozicije, sa težnjom da se na svakoj poziciji smanje na najmanju moguću meru, a da se pri tome ne utiče na obezbeđivanje nesmetanog toka materijala. Nerepetitivni proizvodni sistemi ne mogu imati zalihe gotovih proizvoda, jer se proizvodi po porudžbini. Zalihe se mogu naći na početku proizvodnog procesa, ali nepredvidivost tražnje dovodi i do nepredvidivosti u zahtevima za sirovim materijalom, pa se mnogi nerepetitivni proizvodni sistemi odlučuju da ne drže zalihe sirovog materijala, već da materijal poručuju onda kada se javi tražnja za nekim proizvodom. Zalihe nedovršene proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima su obično velike, jer se njima pokušavaju kompenzovati varijacije koje se javljaju u samom procesu proizvodnje. Pored toga, visok nivo zaliha nedovršene proizvodnje daje privid mogućnosti izbora i autonomije u odlučivanju.

Socijalni podsistem

U pogledu socijalnog podsistema, kod nerepetitivnih proizvodnih sistema se mogu prepoznati karakteristike zanatske i masovne proizvodnje. Kod nerepetitivnih proizvodnih sistema je radna snaga obučena za izvođenje skupa operacija, ali je taj skup najčešće vezan za jedan proces obrade, odnosno jedan radni centar. To otežava rotaciju radnika na različitim fazama transformacije predmeta rada, što je karakteristično za

repetitivne proizvodne sisteme. Uzrok tome je i jaka funkcionalna podela rada, koja stavlja akcenat na individualne zadatke, otežavajući formiranje timova ili grupa. U repetitivnim proizvodnim sistemima su radnici opunomoćeni, pa se na taj način i vode, i od njih se očekuje da sami donose odluke koje se tiču njihovog rada. U nerepetitivnim proizvodnim sistemima su radnici zavisni, pa je i njihovo vođenje striktno i autoritativno. U nerepetitivnim proizvodnim sistemima metod rada često nije adekvatno specificiran, ili je potpuno *ad hoc*.

Organizacioni podsistem

U pogledu poslovne strategije, repetitivni proizvodni sistemi mogu proizvoditi za skladište, montirati po porudžbini ili proizvoditi po porudžbini, dok nerepetitivni proizvodni sistemi proizvode ili projektuju po porudžbini. U skladu sa ovlašćenjima zaposlenih, odluke u repetitivnim proizvodnim sistemima se donose participativno, i tipično na nižem nivou, dok je donošenje odluka u nerepetitivnim proizvodnim sistemima autoritativno, i tipično na višem nivou. U nerepetitivnim proizvodnim sistemima je nivo detalja potreban za donošenje odluka veoma visok. Kako bi se donela odluka, donosilac odluka mora da ima podatke o broju porudžbine, količini koja je poručena, sastavnici proizvoda, putanji materijala, raspoloživim kapacitetima i slično. Sa druge strane, kod repetitivnih proizvodnih sistema taj nivo detalja nije neophodan jer su, na primer, sastavnice proizvoda i putanje materijala standardizovani. Kod nerepetitivnih proizvodnih sistema je tržište turbulentno i okolnosti se brzo menjaju, pa je i vremenski horizont za donošenje odluka kratak. Okruženje u kojem posluju repetitivni proizvodni sistemi je stabilnije, pa je i vreme koje je na raspolaganju za donošenje odluke duže, a i same odluke su dugoročnije. Stabilnost okruženja smanjuje i nivo neizvesnosti u odlučivanju, a promene koje su posledica donjih odluka su dugoročne ali i dugotrajne, u manjim i manje radikalnim koracima. Za nerepetitivne proizvodne sisteme je važno da obezbede responzivnost, odnosno mogućnost da na promenljive zahteve za proizvodima odgovore brzo. Zato su i promene brze i dinamične. Za nerepetitivne proizvodne sisteme je inherentna neodređenost, odnosno mogućnost susretanja sa nepredviđenim događajima, pa zbog toga ima mnogo više neizvesnosti u donošenju odluka u odnosu na repetitivne proizvodne sisteme.

Iz analize se vidi da određene razlike u karakteristikama između repetitivnih i nerepetitivnih sistema mogu predstavljati izvor konkurentske na tržištu prilikom zadovoljavanja specifičnih zahteva korisnika proizvoda jednih, odnosno drugih proizvodnih sistema. Efikasnost repetitivnih proizvodnih sistema je dokazana, i postavlja se pitanje da li se, i kako, karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu približiti karakteristikama repetitivnih proizvodnih sistema, kao i koliko približavanje karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema karakteristikama repetitivnih proizvodnih sistema može uticati na ostvarivanje i zadržavanje konkurentske prednosti na tržištu.

4.2.4 Rezime i zaključci poglavlja

Na osnovu istraživanja relevantne literature, i uporedne analize karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema, mogu se izvući sledeći zaključci:

- Repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi imaju različite ciljeve, i zadovoljavaju različite potrebe (različitih) korisnika na tržištu;
- Repetitivnost, odnosno nerepetitivnost proizvodnje predstavlja stratešku odluku i izvor konkurentske prednosti u zadovoljavanju zahteva korisnika na specifičnom tržištu;
- Karakteristike repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema su u skladu sa specifičnim ciljevima i zahtevima tržišta, pa se zbog toga i razlikuju.

Razlike u karakteristikama repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema su prisutne u svim elementima proizvodnih sistema, i mogu biti značajne. Razlike počinju već kod samog proizvoda, načina na koji se on prilagođava zahtevima korisnika, načina na koji se postiže varijantnost proizvoda, što utiče na načine na koje se ostvaruje fleksibilnost, na koje se organizuje tok materijala, raspoređuje oprema i slično. Posledično, različiti su zahtevi za znanjem koje poseduju zaposleni, načini na koji se zaposleni vode, kao i načini i nivoi na kojima se donose odluke. Imajući u vidu iznesene zaključke, potvrđena je sledeća pojedinačna hipoteza:

H1.2 Karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema se razlikuju od karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema.

4.3 Implikacije karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema na primenu lin pristupa

U prethodnom poglavlju je predstavljen uporedni prikaz karakteristika repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema, i iz prikaza se može videti da postoji značajna razlika u elementima proizvodnog sistema i načinu na koji su ti elementi organizovani. U ovom poglavlju će biti analizirano kakve implikacije karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema, s obzirom da postoji značajna razlika u odnosu na karakteristike proizvodnih sistema u kojima je lin pristup razvijen, mogu da imaju na primenu lin pristupa.

4.3.1 Implementacija lin pristupa

Pojava interesovanja među praktičarima i istraživačima sa zapada za izučavanjem praksi i benefita vezanih za lin pristup je dovela i do pojave interesovanja za načinima na koji se te prakse mogu implementirati. U pogledu primene lin pristupa, primetna je divergencija u naučnoj i stručnoj literaturi, i mogu se prepoznati dve dominantne struje:

- Prva struja propagira kompletnu metodologiju, okvire ili modele primene lin pristupa;
- Druga struja propagira konceptualnu analizu primene lin pristupa, u smislu elemenata, komponenti, alata, metoda i tehnika koje čine lin pristup, a koje treba primeniti;

Obe struje su važne, ali divergentnost istraživanja dovodi do toga da i rezultati istraživanja divergiraju, i da ih je teško porediti.

Primena lin pristupa će biti analizirana sa dva aspekta. Prvi aspekt se odnosi na fundamentalna pravila lin pristupa, odnosno osnovne pravce delovanja u cilju postizanja efekata. Fundamentalna pravila nisu vezana za upotrebu specifičnih alata, već im je prevashodni cilj identifikovanje i rešavanje uzroka problema. Drugi aspekt se odnosi na konkretne i prepoznatljive elemente, alate, metode i tehnike lin pristupa, koji mogu biti korišćeni kao kontramere za identifikovane probleme. Drugi aspekt se može posmatrati kao operacionalizacija fundamentalnih pravila.

4.3.1.1 Fundamentalna pravila implementacije lin pristupa

Spear & Bowen (1999) u svom radu, u kojem su „dekodirali“ DNK Tojotinog proizvodnog sistema, ističu da uspeh Tojote ne leži u primeni specifičnih metoda, alata i tehnika, već u četiri pravila kojih se u Tojoti pridržavaju. Prema autorima, pravila su formulisana prilikom velikog broja poseta Tojotinim fabrikama u Japanu, i predstavljaju ključ uspešne implementacije lin pristupa. Pravila su sledeća (Spear & Bowen, 1999):

- Svaki posao treba da bude visoko specificiran u pogledu njegovog sadržaja, redosleda, vremena obavljanja i rezultata;
- Svaka veza „isporučilac – korisnik“ mora biti direktna, i mora postojati nedvosmislen „da/ne“ način za slanje zahteva i primanje odgovora;
- Put stvaranja svakog proizvoda/usluge mora biti jednostavan i direktan; i
- Poboljšanja se moraju raditi u skladu sa naučnim metodom, pod vođstvom učitelja, na najnižem mogućem nivou organizacije.

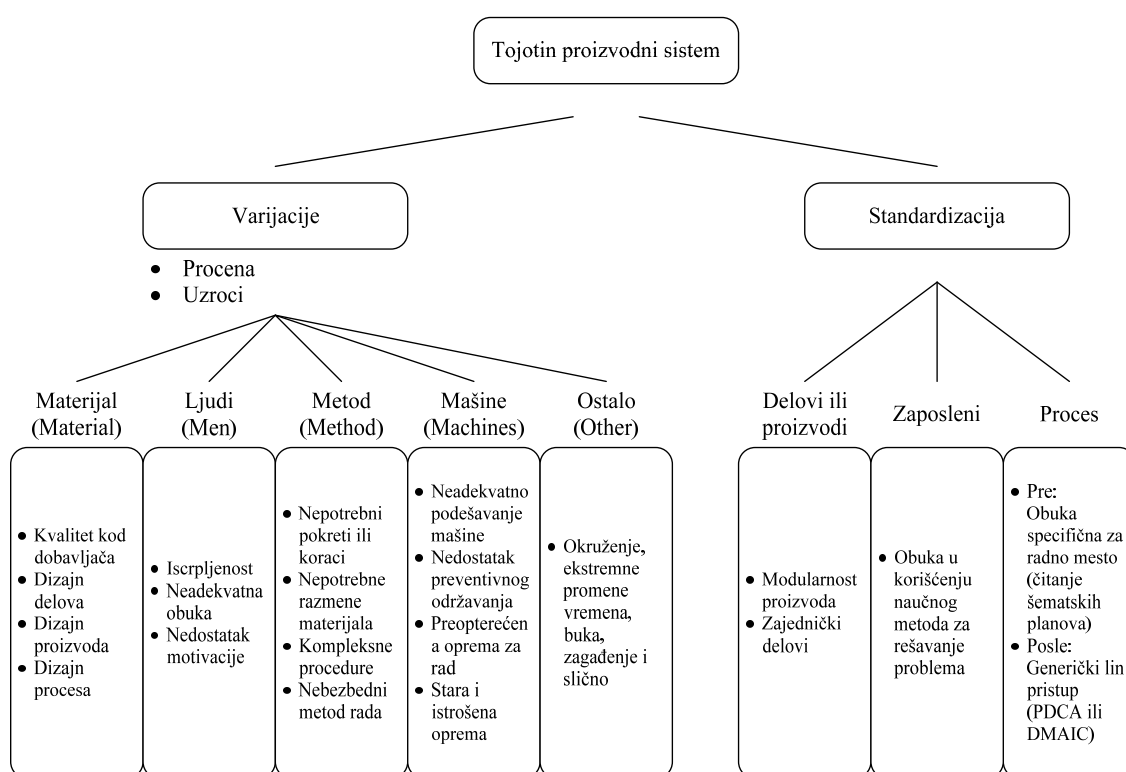
Pravila koja su definisali Spear & Bowen (1999) se mogu grubo grupisati u dva podskupa (Jayaram et al., 2010):

- Kreiranje strukturalnih preduslova koji će omogućiti učenje i rešavanje problema na najnižem mogućem nivou (prvi, drugi i treći princip); i
- Sistematsko rešavanje problema na najnižem nivou, uz korišćenje naučnog metoda (četvrti princip).

U pravilima koje su formulisali Spear & Bowen se mogu prepoznati dve dominantne teme. Prva je stvaranje strukturalnih veza u organizaciji, čiji je primarni cilj otkrivanje i smanjivanje i eliminisanje varijacija u sistemu. Svaki put kada se proces ne odvija na način na koji je specificirano, postavlja se i testira hipoteza o uzroku odstupanja od propisanog načina. Druga je korišćenje naučnog metoda za ostvarivanje ciljeva prve teme (Jayaram et al., 2010). Ovakav ugao gledanja na funkcionisanje Tojotinog proizvodnog sistema podržava stav koji su izneli Spear & Bowen (1999), a koji kaže da suština Tojotinog proizvodnog sistema nije u skupu tehnika i metoda koji se koriste, već u procesu kroz koji je Toyota projektovala svoj proizvodni sistem. Tojotin proizvodni sistem je projektovan kroz posao, veze i putanje (*eng. Work, Connections, and Pathways – WCP*). Projektovanje proizvodnog sistema, onda, uključuje rastavljanje

poslovnih procesa na individualne aktivnosti, stvaranje direktnih veza između tih aktivnosti, a zatim usmeravanje putanja stvaranja vrednosti (Jayaram et al., 2010). Svako odstupanje od željenog stanja koje je definisano prilikom stvaranja strukturalnih veza u organizaciji se identifikuje, a identifikovani problemi se rešavaju primenom naučnog metoda. Cilj je identifikovati, proceniti i eliminisati uzroke varijacija na najnižem mogućem nivou.

Jayaram et al. (2010) predlažu konceptualni okvir rešavanja problema na način koji je karakterističan za Tojotu. Grafički prikaz okvira je dat na Slici 9.



Slika 9. Tojotin pristup rešavanju problema (prilagođeno iz Jayaram et al., 2010)

Rešavanje problema počinje preispitivanjem postojanja varijacija, zatim njihovim detektovanjem, i na kraju ispitivanjem uzroka varijacije. Ciklus rešavanja problema se završava standardizacijom rešenja. Procena varijacija se vrši u jednom od četiri elementa proizvodnje (4M): (i) materijal; (ii) ljudi; (iii) metod; (iv) mašine; ili u eksternim faktorima. Neki od uzroka varijacija u materijalu mogu biti nekonzistentan kvalitet kod dobavljača, loš dizajn delova, loš dizajn proizvoda, neusaglašeni procesi i slično. Ljudi mogu doprineti varijacijama ako su iscrpljeni, neadekvatno obučeni, ili

nedovoljno motivisani. Varijacije u metodu mogu biti uzrokovane nepotrebnim ili suvišnim pokretima u aktivnostima ili aktivnostima u procesu, nepotrebnom razmenom materijala između radnih centara, kompleksnim procedurama ili nebezbednim i ergonomsko neadekvatnim izvršavanjem aktivnosti u procesu. Standardizacija može biti u obliku standardizacije delova ili proizvoda, standardizacije obuke zaposlenih ili standardizacije procesa. Standardizacija procesa se postiže obukom koja je zasnovana na metodama lin pristupa, kao što je PDCA ciklus. Kroz ciklus identifikovanja i eliminisanja uzroka varijacija i standardizacije rešenja, Tojota je uspela da na sistemski način umani štetan uticaj varijacija, gde uzroci varijacija koji su identifikovani u procesu rešavanja problema postaju kandidati za buduću standardizaciju (Jayaram et al., 2010).

Gong et al. (2009) se takođe pozivaju na rezultate koje su izneli Spear & Bowen, i ističu da visoko specificirani poslovi direktno smanjuju varijacije u sistemu, dok specificirane veze i putanje otkrivaju izvore varijacija na sličan način na koji nizak nivo zaliha otkriva skrivene probleme u sistemu. Autori se pozivaju na Schonberger-a (1982b), citirajući da su varijacije univerzalni neprijatelj proizvodnih sistema, i smatrajući da je osnovni zadatak lin pristupa smanjenje uticaja varijacija. Smanjenje uticaja varijacija se može postići na dva načina: (i) direktnim eliminisanjem varijacija; ili (ii) kompenzovanjem uticaja varijacija, kroz višak zaliha, kapaciteta ili vremena (Hopp & Spearman, 2004). Gong et al. (2009) ističu da se Tojota odlučila za direktno eliminisanje varijacija, uz težnju da se baferi smanje na minimum u cilju otkrivanja varijacija. Baferi mogu biti upotrebljeni kao kontramera u cilju smanjenja uticaja varijacija, ali se posmatraju kao privremeno rešenje, dok se ne dođe do nekog koje je sistematičnije i postojanije (Shingo, 1989; Spear & Bowen, 1999). Gong et al. (2009) navode da visoko specificirani poslovi, veze i putanje omogućavaju izgradnju dva osnovna stuba Tojotinog proizvodnog sistema, odnosno pravovremenu proizvodnju i inteligentnu automatizaciju, i to na sledeći način:

- Pretpostavka je da se u izvršenju posla mogu javiti redundantne aktivnosti ukoliko sadržaj rada i redosled operacija nisu specificirani; redundantne aktivnosti mogu dovesti do dužeg vremena obrade i većih varijacija; pored toga, provera rezultata rada se može raditi jednom, nakon završetka svih operacija, ili

više puta u toku izvršenja operacija; ukoliko se pretpostavi da su prosečno vreme potrebno za rešavanje problema i koeficijent varijacije koji meri neuniformnost u vremenu potrebnom za rešavanje problema jednaki u oba slučaja, može se reći da su varijacije manje prilikom češće provere rezultata rada manje nego u slučaju kada se rezultat rada proverava samo jednom, po završetku svih aktivnosti; kao zaključak se može izvesti da visoko specificiranje posla vodi ka pravovremenoj proizvodnji. Pored toga, Tojota teži smanjenju bafera; baferi mogu pozitivno uticati na smanjenje varijacija, pa se eliminisanje bafera može smatrati neintuitivnim; međutim, postojanje bafera čini veze između isporučilaca i korisnika, kao i putanje stvaranja vrednosti indirektnim, tako što odvaja pojedine faze proizvodnje; takođe, smanjenje bafera povećava vidljivost varijacija, što „tera“ sistem da se eliminiše varijacije direktnim specificiranjem posla, pa se može reći da visoko specificirane veze i putanje otkrivaju varijacije, dok ih visoko specificirani posao eliminiše, što predstavlja osnovu za uspostavljanje pravovremene proizvodnje;

- Ključ inteligentne automatizacije je brza i jednostavna provera stanja sistema uz što manje informacija; visoko specificiran posao, veze i putanje obezbeđuju logiku koja je ljudima neophodna da lako identifikuju i reše problem, uz smanjenje potrebe za informacijama; brzo i jednostavno identifikovanje problema omogućava zaustavljanje proizvodne linije, što otkriva varijacije, pa se može reći da visoko specificiranje posla, veza i putanja omogućava inteligentnu automatizaciju.

Visoko specificiranje posla u pogledu njegovog sadržaja, redosleda, vremena obavljanja i rezultata smanjuje verovatnoću pojavljivanja redundantnih aktivnosti, kao i mogućnost da se posao izvršava na slučajan način. To smanjuje efikasnost izvršenja posla, zbog dužeg vremena potrebnog da se aktivnosti izvrše, kao i zbog povećanog nivoa varijacija. Sa druge strane, visoko specificirane veze i putanje omogućavaju otkrivanje varijacija, i njihovu eliminaciju kroz visoko standardizovani posao. Na osnovu ovih zaključaka, Gong et al. (2009) predlažu model koji predstavlja suštinu implementacije lin pristupa, a koji je prikazan na Slici 10. Gong et al. (2009) su formulisali pravilo koje opisuje logiku implementacije lin pristupa, odnosno uspostavljanja Tojotinog proizvodnog sistema, na sledeći način:

Otkriti varijacije visokim specificiranjem veza između isporučilaca i korisnika u procesi i putanja stvaranja vrednosti, a zatim eliminisati varijacije visokim specificiranjem svih aktivnosti posla, sadržaja posla, redosleda izvršenja posla i čestim proverama rezultata posla.

Osim uticaja na efikasnost izvršenja posla, varijacije otežavaju učenje i poboljšavanje u organizaciji, zato što sakrivaju vezu između načina na koji se posao izvršava i rezultata posla (Spear & Bowen, 1999). Može se postaviti pitanje kako održati fleksibilnost i adaptibilnost proizvodnog sistema ukoliko je posao visoko specificiran? Aktivnosti, veze i putanje su striktno specificarni u Tojoti na način koji je sličan masovnoj proizvodnji. Ono što izdvaja Tojotin proizvodni sistem u odnosu na masovnu proizvodnju je to što se aktivnosti i procesi konstantno preispituju u cilju njihovog unapređenja, što omogućava kompaniji da se konstantno inovira i poboljšava (Spear & Bowen, 1999).



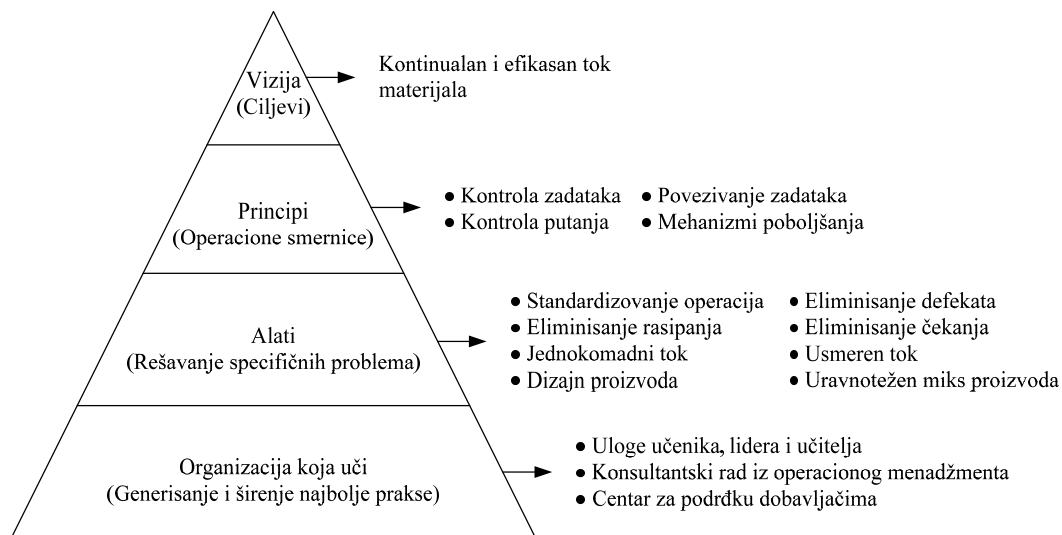
Slika 10. Logika implementacije lin pristupa, odnosno otkrivanja i smanjenja varijacija
(prilagođeno iz Gong et al., 2009)

Hopp & Spearman (2004) definišu lin pristup kao proizvodnju proizvoda ili pružanje usluga uz minimalne troškove bafera. Autori navode da su baferi neophodni kako bi sistem funkcionisao, ali smatraju da prekomerni baferi predstavljaju rasipanja, i da su nepotrebni. Postoje dva uzroka postojanja prekomernih bafera. Prvi uzrok su očigledna rasipanja, kao što su nepotrebne operacije, dugačka vremena podešavanja mašina, nepouzdanе mašine koje se mogu učiniti pouzdanijim, dorada i defekti koji se mogu eliminisati, i slično. Drugi uzrok postojanja prekomernih bafera su varijacije, koje mogu

biti interne (nestandardizovana izmena alata, predviđeni i nepredviđeni zastoji, fluktuacije u brzini proizvodnje koje prouzrokuju radnici, promene u projektima od strane inženjera i slično) i eksterne (fluktuacije u tražnji, fluktuacije u snabdevanju, varijetet proizvoda, promene koje zahteva kupac i slično). Ukoliko se kao cilj implementacije lin pristupa uzme eliminisanje svih vrsta rasipanja (Ohno, 1988; Shingo, 1989), onda se fundamentalna pravila implementacije lin pristupa mogu predstaviti na sledeći način:

- Eliminirati očigledna rasipanja;
- Smanjiti varijacije, i transformirati bafere u očigledna rasipanja (povećati viljivost rasipanja kroz smanjenje bafera);
- Upravljanje baferima, odnosno pronaći najekonomičniju kombinaciju bafera.

Towill (2010) navodi da se pravila koja su definisali Spear & Bowen najbolje mogu predstaviti u formi četvorospratne piramide, koja zahteva da se jasno definišu vizija, principi (koji zapravo predstavljaju interpretaciju pravila koja su definisali Spear & Bowen), alati i elementi organizacije koja uči. Prikaz piramide je dat na Slici 11.



Slika 11. Četvorospratna piramida implementacije lin pristupa (prilagođeno iz Towill, 2010)

Towill (2010) navodi da alati koji su inkorporirani u piramidu implementacije lin pristupa ne predstavljaju ništa drugo do standardne metode i tehnike industrijskog inženjerstva, praveći paralelu sa metodama i tehnikama koje su razvili Frank i Lillian

Gilbreth (autor poredi eliminaciju rasipanja sa proučavanjem metoda rada u kojem se eliminišu pokreti koji ne stvaraju vrednost, mapiranje toka vrednosti i principe prikazivanja stanja „pre“ i „posle“ sa kartom procesa, PDCA ciklus sa pristupom proučavanja metoda rada od četiri koraka, i slično). Organizacija koja uči je jedini element čiji se koreni ne mogu naći u praksi industrijskog inženjerstva, i Towill (2010) smatra da je to jedina istinska inovacija u okviru Tojotinog proizvodnog sistema.

4.3.1.2 Aspekti, metode, tehnike i alati lin pristupa

Lin pristup je višedimenzioni pristup koji obuhvata širok skup metoda i tehnika menadžmenta, kao što su pravovremena proizvodnja, sistemi kvaliteta, radni timovi, ćelijska proizvodnja, saradnja sa dobavljačima, i organizuje ih u integrisani sistem (Shah & Ward, 2003). U istraživanju lin pristupa, objavljen je značajan broj radova koji se fokusiraju na sadržaj lin pristupa u smislu aspekata, metoda, tehnika i alata koji sačinjavaju lin pristup.

Voss (1984) je u svom istraživanju identifikovao da sledeće metode i tehnike doprinose uspehu japanskih kompanija: čisto i uređeno radno mesto, minimizacija zaliha, prevencija problema, kontinualna inkrementalna poboljšavanja, ugrađivanje kvaliteta u projektovanje proizvoda, obuka zaposlenih, standardizacija operacija i preventivno održavanje opreme. Autor je istraživao koliko se svaka od metoda i tehnika koristi u kompanijama u Ujedinjenom kraljevstvu, od kojih je jedna bila u vlasništvu japanaca. Rezultati pokazuju selektivnu adopciju identifikovanih metoda i tehnika. Ono što je interesantno je da kompanija koja je u japanskom vlasništvu nije primenjivala Kanban kao sistem kontrole toka materijala u proizvodnji. Ovakav rezultat je iznenađujući, s obzirom da se Kanban smatra jednim od ključnih elemenata Tojotinog proizvodnog sistema (Ohno, 1988; Shingo, 1989).

U istraživanju koje su sprovedli Voss & Robinson (1987) je analiziran nivo primene tehnika pravovremene proizvodnje u proizvodnim kompanijama u Ujedinjenom kraljevstvu. Rezultati pokazuju da su među najprimenjivanim tehnikama fleksibilna radna snaga, smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje, pojednostavljenje proizvoda, preventivno održavanje i statistička kontrola procesa. Među tehnikama koje su najmanje primenjivane su projektovanje višepredmetnih linija za kombinovanu proizvodnju,

uravnoteženje opterećenja i proizvodnje ćelije, dok je Kanban bio na dnu liste primenjenih tehnika. Autori ovakav rezultat objašnjavaju time što se kompanije odlučuju da prvo primene tehnike koje su jednostavnije, dok se tehnike koje zahtevaju veću posvećenost ređe primenjuju.

Zhu et al. (1995) su, kroz analizu literature, identifikovali 24 elementa implementacije pravovremene proizvodnje, koje su rangirali prema učestalosti primene. Autori navode da, uz male razlike u rang, isti elementi dominiraju u pogledu učestalosti implementacije. Ti elementi su: krugovi kvaliteta, smanjenje vremena podešavanja mašina, multifunkcionalna obuka zaposlenih, obezbeđenje kvaliteta kod dobavljača, grupna tehnologija, smanjenje veličine serija u proizvodnji, skraćanje vremena nabavke, obuka o pravovremenoj proizvodnji, uspostavljanje partnerskih odnosa sa dobavljačima i smanjenje veličine serije prilikom nabavke. Interesantno je da Kanban i druge tehnike vezane za vučenje proizvodnje nisu identifikovane u 24 elementa implementacije pravovremene proizvodnje.

Flynn et al. (1995) su analizirali vezu između pravovremene proizvodnje i upravljanja ukupnim kvalitetom, i zaključili da se pravovremena proizvodnja i upravljanje ukupnim kvalitetom u određenoj meri preklapaju, ali svaki od pristupa ima i sebi svojstvene elemente, i da se u pogledu poboljšanja najbolji efekti postižu kombinovanim korišćenjem elemenata jednog i drugog pristupa. Kao jedinstvene elemente pravovremene proizvodnje autori su identifikovali Kanban, smanjenje veličine serija, smanjenje vremena podešavanja mašina, i pravovremeno raspoređivanje proizvodnje (Flynn et al., 1995).

Odsustvo Kanbana i sistema vučenja proizvodnje je primetno i u drugim istraživanjima. Hallihan et al. (1997) su, u istraživanju industrijske primene pravovremene proizvodnje, identifikovali devet tehnika za eliminisanje rasipanja: fleksibilna radna snaga i obogaćivanje posla, smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje i veličine serija, pravovremena nabavka, totalno produktivno održavanje, smanjenje vremena podešavanja mašina, pojednostavljenje proizvoda, standardizacija i modularizacija, kontrola kvaliteta od strane operatera, uravnotežena proizvodnja, grupna tehnologija i ćelijska proizvodnja. Autori ističu da je odsustvo Kanbana čudno, s obzirom da je jedna od osnovnih funkcija Kanbana ograničavanje zaliha nedovršene proizvodnje. Zbog toga

je lista dopunjena sa još četiri tehnike koje su identifikovane u stručnoj literaturi (ukupno ih je trinaest): vizuelna kontrola proizvodnje, dobra uređenost, sistem vučenja proizvodnje i Kanban, i inteligentna automatizacija i kontrola defekata.

Shah & Ward (2003) su, kroz analizu relevantne literature, identifikovali 22 elementa lin pristupa. Autori smatraju da ovaj skup predstavlja reprezentativni prikaz ključnih elemenata lin pristupa. Učestalost pojavljivanja pojedinih elemenata u literaturi je različita, pa se tako uspostavljanje kontinualnog toka proizvodnje i brza izmena alata u literaturi pominju najčešće, dok se programi unapređenja bezbednosti rada pominju najmanje (Shah & Ward, 2003). Postoje različiti načini na koje se identifikovani elementi mogu kombinovati, kako bi se prikazala višedimenzionalnost lin pristupa. Shah & Ward (2003) su identifikovali četiri „svežnja“ u koje su rasporedili elemente lin pristupa: (i) pravovremena proizvodnja; (ii) totalno produktivno održavanje; (iii) upravljanje ukupnim kvalitetom; i (iv) upravljanje ljudskim resursima. Autori smatraju da su ove četiri kategorije empirijski uspostavljenije u stručnoj i naučnoj literaturi iz operacionog menadžmenta (Shah & Ward, 2003). Identifikovani elementi, i način njihovog kombinovanja u svežnje, su dati u Tabeli 14.

Tabela 14. Elementi lin pristupa (prilagođeno iz Shah & Ward, 2003)

Lin svežanj	Pripadajuće prakse
Pravovremena proizvodnja (<i>JIT</i>)	– Smanjenje veličine serija – Kontinualni tok proizvodnje – Sistem vučenja proizvodnje – Čelijska proizvodnja – Smanjenje vremena proizvodnog ciklusa – Fokusirane fabrike – Strategije agilne proizvodnje – Brza izmena alata – Uklanjanje uskih grla/ograničenja – Reinženjering proizvodnih procesa
Totalno produktivno održavanje (<i>TPM</i>)	– Preventivno održavanje opreme – Optimizacija održavanja – Programi unapređenja bezbednosti – Strategije planiranja i raspoređivanja – Uvođenje nove proizvodne tehnologije
Upravljanje ukupnim kvalitetom (<i>TQM</i>)	– Benčmarking – Programi upravljanja kvalitetom – Ukupno upravljanje kvalitetom – Merenje sposobnosti procesa – Formalni programi kontinualnog poboljšavanja proizvodnje
Upravljanje ljudskim resursima (<i>HRM</i>)	– Samostalni radni timovi – Fleksibilna, multifunkcionalna radna snaga

U svom drugom istraživanju, Shah & Ward (2007) su identifikovali 48 elemenata lin pristupa, koje su grupisali u 10 operativnih konstrukta lin pristupa: povratne informacije ka dobavljačima, pravovremeno snabdevanje, razvoj dobavljača, aktivno uključivanje korisnika, vučenje proizvodnje, smanjivanje vremena podešavanja mašina, totalno produktivno održavanje, statistička kontrola procesa, i aktivno uključivanje zaposlenih.

Lin tehnike i alati se grubo mogu podeliti na interne i eksterne, gde se eksterni dalje mogu podeliti u one koji se tiču saradnje sa dobavljačima i one koji se tiču saradnje sa kupcima (Shah & Ward, 2007; Chavez et al., 2013). Interni aspekt lin pristupa obuhvata, pre svega, tehnike, alate i koncepte kao što su proizvodnja po sistemu vučenja, smanjenje vremena izmene alata, pravovremena proizvodnja i upravljanje kvalitetom (Shah & Ward, 2003; So & Sun, 2010; Chavez et al., 2013). Eksterni aspekt lin pristupa obuhvata, iznad svega, tesnu saradnju sa dobavljačima, u smislu češćih isporuka, eliminacije ulazne kontrole kvaliteta i slično (Levy, 1997; McIvor, 2001; Simpson & Power, 2005). Primena oba aspekta lin pristupa (čak i nezavisno jedan od drugog) može imati pozitivan uticaj na unapređenje performansi kompanije (Flynn et al., 1995; White & Prybutok, 2001; Shah & Ward, 2003).

Načini, odnosno redosled kombinovanja elemenata lin pristupa može biti različit, i u velikoj meri je uslovljen kontekstualnim karakteristikama proizvodnog sistema u kojem se primenjuju (Shah & Ward, 2003). Neki autori propagiraju prvo implementaciju elemenata koji su jednostavniji za primenu, gde se mogu brzo ostvariti rezultati koji su lako vidljivi (Hallihan et al., 1997), dok drugi propagiraju sistematičniji pristup, gde se prvo primenjuju elementi koji grade osnovu za implementaciju lin pristupa, na koju se kasnije nadograđuju ostali (složeniji) elementi (Womack & Jones, 1996; Wan & Chen, 2009; Monden, 2011).

Pet principa lin pristupa koje su predložili Womack & Jones (1996) predstavljaju strukturirani način implementacije lin pristupa. Iako autori nisu specificirali koji elementi lina su ključni za pojedine principe, može se zaključiti da se predlaže implementacija od jednostavnijih elemenata, kao što su mapiranje toka vrednosti, uređivanje radnih mesta, obuka zaposlenih, stvaranje multifunkcionalnih timova, preko elemenata kao što su brza izmena alata, smanjenje veličine serija i obezbeđivanje

jednokomadnog toka, do elemenata koji obezbeđuju nesmetani tok materijala, kao što su sistem vučenja proizvodnje i Kanban.

Wan & Chen (2009) predlažu implementaciju u tri etape, gde se svaka od etapa sastoji od nekoliko faza. Etape primene lin pristupa su sledeće: (i) obezbeđivanje lin kulture; (ii) primena lin veština; i (iii) kontinualno poboljšanje. Druga etapa, primena lin veština, je posebno interesantna, jer predlaže redosled implementacije elemenata lina, na osnovu percipiranog značaja svakog od elemenata za proizvodni sistem. Etapa je podeljena u četiri faze. Prva faza obuhvata uspostavljanje sistema vučenja proizvodnje, uravnoteženje opterećenja i standardizaciju posla. Druga faza obuhvata inteligentnu automatizaciju, unapređenje produktivnosti i unapređenje izmene alata. Treća faza obuhvata mapiranje toka stvaranja vrednosti, obezbeđivanje kvaliteta i vizuelno upravljanje. Četvrta faza obuhvata konkurentni inženjering, formiranje proizvodnih ćelija i formiranje multifunkcionalnih radnih timova. Predloženi način implementacije može biti upitan, s obzirom da na prvo mesto stavlja uspostavljanje sistema vučenja, dok formiranje radnih ćelija, između kojih bi trebalo uspostaviti sistem vučenja, dolazi na kraju. Pored toga, i drugi elementi koji bi trebalo da uspostave preduslove za sistem vučenja proizvodnje (kao što su obezbeđivanje kvaliteta na izvoru, brza izmena alata, vizuelno upravljanje) zapravo slede uspostavljanje sistema vučenja. Ovakav način primene je u nesaglasju sa dominantnim stavovima iz prakse lin pristupa (videti Womack & Jones, 1996; Monden, 2011), kao i sa iskustvom koje je imala sama Tojota, gde je sistem vučenja proizvodnje poslednji formalizovan i primenjen.

Monden (2011) navodi da se implementacija tehnika lin pristupa mora sprovoditi u pravcu „od sredstava ka ciljevima“, i to na sledeći način:

1. Uvođenje 5S sistema kao temelja poboljšanja;
2. Uvođenje jednokomadnog toka u okviru sinhronizovane proizvodne linije:
 - a. Napraviti promenu iz sedećeg rada u stojeći rad;
 - b. Poređati mašine prema redosledu izvršenja operacija;
 - c. Povezati susedne procese;
 - d. Projektovati ćelije u obliku potkovice;
 - e. Organizovati opsluživanje više mašina od strane radnika sa širokim skupom veština;

- f. Odvojiti rad mašina od rada radnika;
- 3. Smanjenje veličine serije i skraćivanje vremena izmene alata;
- 4. Uravnoteženje opterećenja u odnosu na tražnju;
- 5. Uvođenje inteligentne automatizacije;
- 6. Uvođenje sistema vučenja uz pomoć Kanban kartica.

Monden (2011) navodi da se proces implementacije sastoji od pravljenja rasporeda, postavljanja ciljeva i sprovođenja edukativnih aktivnosti. Počinje se održavanjem dobre uređenosti radnih mesta, a pravac delovanja je od procesa koji su „nizvodno“ ka procesima koji su „uzvodno“.

4.3.2 Problemi u implementaciji lin pristupa

Jedan od osnovnih problema u primeni lin pristupa je nedostatak efektivne metodologije implementacije lin pristupa (Behrouzi & Wong, 2011). Odluka o načinu na koji će lin pristup biti implementiran se najčešće donosi na osnovu zdravog razuma i intuicije menadžera koji je zadužen za implementaciju, i retko je zasnovana na logički zasnovanom skupu činjenica i koraka koji bi trebalo da vode implementaciju (Karim & Arif-Uz-Zaman, 2013). Flynn et al. (1995) navode da, bez specificiranog načina na koji lin pristup može biti implementiran, uspeh implementacije zavisi od sposobnosti kompanije da svoju kulturu prilagodi onoj u kojoj je lin pristup inicijalno razvijen.

Promene koje se očekuju na putu implementacije lin pristupa, a koje mogu uključivati novi raspored opreme, nove procedure rada, redefinisane odnose sa dobavljačima i promenu ukupne kulture kompanije, mogu izgledati drastično i predstavljati značajnu prepreku u implementaciji lin pristupa (Voss & Robinson, 1987; Black, 2007). I sami dobavljači mogu predstavljati prepreku, pošto nisu svi podjednako spremni da svoje poslovanje u potpunosti usklade sa poslovanjem kompanije-korisnika (Zipkin, 1991). Tradicionalni zapadnjački pogled na organizacionu strukturu se značajno razlikuje od onog u kojem je lin pristup razvijen, i hijerarhijska rigidnost i nefleksibilnost organizacione strukture mogu predstavljati značajan problem. Takođe, neke od tehnika lin pristupa, kao što su zaustavljanje proizvodnje ili izostanak proizvodnje ukoliko ne postoji direktna potreba korisnika ili procesa koji sledi, mogu izgledati suprotno zdravom razumu. Pored toga, rezultati istraživanja pokazuju da veličina može igrati

značajnu ulogu u uspešnosti implementacije, gde je veća šansa da implementacija bude uspešna kod velikih kompanija nego kod malih (Shah & Ward, 2003).

Womack et al. (1990) su, ističući univerzalnost lin pristupa, istakli da će proizvodnja organizovana po principima lin pristupa postati dominantan način proizvodnje u XXI veku, i da će zameniti masovnu proizvodnju, kao i preostalu zanatsku proizvodnju. Upravo je univerzalnost primene bila često na meti kritika mnogih istraživača. Cooney (2002) smatra da ostvarivanje pravovremene proizvodnje, kao centralne prakse lin pristupa, zavisi od čitavog niza preduslova. Pravovremena proizvodnja zavisi od mogućnosti uravnoteženja opterećenja u samoj kompaniji i u lancu snabdevanja, i ukoliko ono ne može biti ostvareno zbog specifičnih uslova poslovanja ili prirode odnosa isporučilaca i korisnika mogu se javiti ozbiljne prepreke u implementaciji lin pristupa (Cooney, 2002). Cooney (2002) se posebno osvrće na zanatsku proizvodnju velikog varijeteta i malog obima, ističući da širok miks proizvoda u takvom okruženju otežava definisanje standardnog vremena proizvodnje, a samim tim i uravnoteženje opterećenja. Iako se Tojotin proizvodni sistem ističe fleksibilnošću, činjenica je da ta fleksibilnost nije bez granica. Tako se sa povećanjem fluktuacija u tražnji (kako u obimu tako i u varijetetu proizvoda) smanjuju mogućnosti za primenu lin pristupa (Zipkin, 1991; Cusumano, 1994; Hines et al., 2004; Hopp & Spearman, 2008). Zbog toga je razumljivo zašto najveći deo priča o uspehu implementacije lin pristupa dolazi iz auto industrije, ili industrija koje su po karakteristikama njoj slične, dok je uspeh u industrijama u kojima su varijacije u tražnji i karakteristikama proizvoda ograničen. Zipkin (1991) smatra da se uticaj varijacija može smanjiti samo odvajanjem proizvodnje od tražnje, i da se to može postići ili držanjem određene količine zaliha gotovih proizvoda, ili ograničavanjem varijeteta i raspoloživosti proizvoda, gde obe strategije imaju svoju cenu.

Revolucionarna retorika koja je dominantna u mnogim publikacijama koje se bave lin pristupom, a dolaze sa zapada, može predstavljati značajnu prepreku u implementaciji (Zipkin, 1991; Hopp & Spearman, 2008). Tako, nije redak slučaj da literatura obećava nerealna poboljšanja nakon primene lin pristupa (potpuna eliminacija zaliha, značajno povećanje produktivnosti, značajno poboljšanje kvaliteta), koja često daju nerealna očekivanja menadžerima, zabranjujući reč „kompromis“, smatrajući da ona služi kao

opravdanje za nedovoljno revnosno praćenje principa lin pristupa. Implementacija lin pristupa zahteva pragmatični prilaz, koji zagovara uporan i dugotrajan rad. Tako Shingo (1989) kaže da je Tojoti bilo potrebno 20 godina da razvije svoj proizvodni sistem, a da će nekom drugom poslovnom sistemu trebati bar 10 godina da razvije sopstveni proizvodni sistem koji je zasnovan na principima Tojotinog proizvodnog sistema. Pored toga, Shingo (1989) je oprezan u isticanju rezultata primene lin pristupa, i tvrdi da je Tojota još daleko od ideala kojem stremi.

Takođe, nisu retke ni kritike lin pristupa u pogledu uticaja na zaposlene, pa se često čuje kako smanjivanje zaliha nedovršene proizvodnje, konstantni zahtevi za unapređivanjem proizvodnje, smanjenje raspoloživih resursa za obavljanje posla i postavljanje nerealnih zahteva mogu izazvati dodatan stres kod zaposlenih i delovati demotivišuće (Zipkin, 1991; Cyert & March, 1992; Cialdini & Goldstein, 2004; Treville & Antonakis 2006).

Jedan od najčešćih problema prilikom implementacije lin pristupa je pogrešna slika koju kompanije imaju, gde se lin pristup posmatra isključivo kao skup alata (Lander & Liker, 2007). U Tojoti smatraju da alati koji su razvijeni (kao na primer Kanban, andon i slično) ne predstavljaju fundamentalni deo Tojotinog proizvodnog sistema (Spear & Bowen, 1999). Čak i ako se kompanije odluče za puku primenu alata, ona je često parcijalna i nepotpuna. Shah & Ward (2003) ističu da se pune koristi od lin pristupa mogu postići samo kroz sinergetski efekat primene različitih tehnika i alata. Uzroci parcijalne primene alata lin pristupa je u najmanju ruku dvojak: (i) kompanije očekuju brze rezultate ukoliko primene neki od alata koji je dokazano doneo rezultate u drugoj kompaniji; i (ii) lin pristup je previše širok da bi ga neke kompanije u potpunosti razumele, pa se zbog toga odlučuju primenu delova lin pristupa koji su razumljiviji i jednostavniji za primenu. Međutim, iako je razvijen veliki broj alata lin pristupa, oni se posmatraju kao kontramere koje su preduzete u cilju rešavanja konkretnih problema. Primena određenih alata, ili odsustvo primene, ne znače i primenu lin pristupa.

4.3.3 Analiza primenljivosti lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Analiza primenljivosti lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima će biti urađena iz dva aspekta. Prvi aspekt podrazumeva analizu primenljivosti osnovnih

pravila implementacije lin pristupa. Drugi aspekt podrazumeva analizu primenljivosti pojedinih metoda, tehnika i alata lin pristupa, kao vida operacionalizacije fundamentalnih pravila i principa.

4.3.3.1 Analiza primenljivosti osnovnih pravila implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Četiri osnovna pravila implementacije lin pristupa su prikazana u Tabeli 15. Pored svakog od pravila je identifikovano da li je ono primenljivo i relevantno za nerepetitivne proizvodne sisteme kroz četiri nivoa: (i) potpuno je primenljivo; (ii) primenljivo uz manje modifikacije; (iii) primenljivo uz veće modifikacije; i (iv) nije primenljivo. Uz to je dato i kratko objašnjenje zašto određeno pravilo jeste ili nije primenljivo i relevantno u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Tabela 15. Analiza primenljivosti osnovnih pravila implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Pravilo	Primenljivost u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	Objašnjenje
Svaki posao treba da bude visoko specificiran u pogledu njegovog sadržaja, redosleda, vremena obavljanja i rezultata	Potpuno je primenljivo	Standardizacija posla je relevantna i za nerepetitivne proizvodne sisteme; standard posla treba da bude kombinacija standarda manjih elemenata posla
Svaka veza „isporučilac – korisnik“ mora biti direktna, i mora postojati nedvosmislen „da/ne“ način za slanje zahteva i primanje odgovora	Primenljivo uz manje modifikacije	U nerepetitivnoj proizvodnji se zahtevi za snabdevanjem poslom ne obavljaju direktno između radnih centara; informacije o obliku i kvalitetu proizvoda, podacima ko isporučuje šta kome i kada, kao i zahtevi za pomoću se mogu organizovati na isti način kao u repetitivnoj proizvodnji
Put stvaranja svakog proizvoda/usluge mora biti jednostavan i direktan	Primenljivo uz manje modifikacije	Putanje se mogu menjati od proizvoda do proizvoda; specificirati putanju za svaki proizvod, specificirati korake u stvaranju vrednosti, specificirati putanju kretanja informacija
Poboljšanja se moraju raditi u skladu sa naučnim metodom, pod vođstvom učitelja, na najnižem mogućem nivou organizacije	Potpuno je primenljivo	Svi proizvodni sistemi, bez obzira na tip, mogu upotrebljavati ovo pravilo

Prvo pravilo se u najvećoj meri odnosi na standardizaciju posla. Bicheno & Holweg (2009) navode kako je standardizacija posla primenljiva i kod nerepetitivnih operacija, dok Spear & Bowen (1999) navode da Tojota specificira čak i aktivnosti koje su kompleksne i koje se retko obavljaju. U slučaju kompleksnih i nerepetitivnih aktivnosti, neophodno je standard izvođenja posla predstaviti kao kombinaciju standarda manjih elemenata rada, gde je za svaki manji element specificiran sadržaj rada, redosled, vreme obavljanja i očekivani rezultat. Radnike treba obučiti da sami proveravaju kvalitet rezultata aktivnosti koje obavljaju. U nerepetitivnim proizvodnim sistemima bi bilo racionalnije koristiti donekle preformulisano prvo pravilo, koje bi glasilo da „svaki posao treba da bude ADEKVATNO specificiran u pogledu njegovog sadržaja, redosleda, vremena obavljanja i rezultata“ (Bicheno & Holweg; 2009).

Veze „isporučilac-korisnik“ se uspostavljaju za potrebe kretanja materijala i informacija. U slučaju kretanja materijala, zahtevi za snabdevanjem se kreću unazad, tako što radni centar obaveštava prethodni radni centar da je neophodno da ga snabde novom količinom materijala. U nerepetitivnoj proizvodnji to može biti teško izvodljivo, jer putanja materijala može da varira, a i to što je povučena određena količina proizvoda sa prethodne radne stanice ne mora da znači da će se taj proizvod samo zbog toga ponovo izrađivati. Sa druge strane, važno je da korisnici razumeju ko učestvuje u stvaranju vrednosti sa strane isporučioca, koji je oblik i kvalitet proizvoda koji isporučilac dostavlja korisniku, koji je način da se uputi zahtev za obezbeđivanje materijala i informacija, i koje je vreme za koje treba odgovoriti na taj zahtev. Iako se informacije o potrebama za materijalom u nerepetitivnim proizvodnim sistemima ne kreću unazad od radne stanice do radne stanice, neophodno je precizno specificirati ko isporučuje kome šta, i kada. Direktne veze kod rešavanja problema moraju postojati i u repetitivnim i u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Ukoliko je pomoć potrebna, neophodno je precizirati kome se treba obratiti za pomoć, i na koji način pomoć treba da bude pružena.

Kod repetitivnih proizvoda je putanja stvaranja proizvoda uvek ista, i menja se ukoliko se promeni konfiguracija proizvodne linije (Spear & Bowen, 1999). Kod nerepetitivnih proizvodnih sistema putanje mogu biti promenljive, i različite od proizvoda do proizvoda. To znači da je putanju potrebno specificirati za svaki proizvod, odnosno

precizno definisati koji su koraci u stvaranju vrednosti (koji su dobavljači na putu stvaranja vrednosti zaista neophodni?). Svaki korak je specificiran u smislu konkretne osobe, odnosno radnog centra koji treba da preuzme materijal nakon što je njegova obrada završena na prethodnom radnom centru. Slično je i sa rešavanjem problema, gde se pomoć traži od konkretne osobe (ukoliko ta osoba ne može da reši problem, pomoć se traži od naredne osobe koja je specificirana u lancu). Ukoliko osoba ili radni centar kojoj su namenjeni materijal odnosno informacije nije na raspolaganju, identifikuje se odstupanje od specificiranog načina izvođenja procesa, i pristupa se rešavanju problema.

Specificiranost posla, veza i putanja omogućava radniku da lako identifikuje odstupanja. Formiraju se hipoteze koje se prilikom izvođenja posla testiraju, gde se, ukoliko hipoteza pokaže kao netačna, predlažu i implementiraju odgovarajuće kontramere. Ovakav postupak rešavanja problema je univerzalan, i jednako primenljiv u repetitivnim i u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

4.3.3.2 Analiza primenljivosti metoda, tehnika i alata u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

U Tabeli 16 je dat skup metoda, tehnika i alata koji su prepoznatljivi za lin pristup. Pored svakog metoda, tehnike ili alata je identifikovano da li je on primenljiv nerepetitivnim proizvodnim sistemima kroz četiri nivoa: (i) potpuno je primenljiv; (ii) primenljiv uz manje modifikacije; (iii) primenljiv uz veće modifikacije; i (iv) nije primenljiv. Uz to je dato i kratko objašnjenje zašto određena metoda, tehnika ili alat jestu ili nisu primenljivi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, na sličan način kao što je to urađeno kod osnovnih pravila implementacije lin pristupa.

Iz tabele se vidi da postoji određen broj alata lin pristupa koji se mogu primeniti u nerepetitivnim proizvodnim sistemima na identičan način na koji se primenjuju u repetitivnim proizvodnim sistemima. Sa druge strane, postoje i alati koje je neophodno prilagoditi karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema, kao i oni koji se zbog karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema ne mogu primeniti. Akcenat analize će biti na grupi alata koji zahtevaju značajno prilagođavanje, kao i onima koje nije moguće primeniti u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

**Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema**

Tabela 16. Analiza primenljivosti alata lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Alat	Primenljivost u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	Objašnjenje
5 zašto	Potpuno primenljivo	Utvrđivanje uzroka problema, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu
5S	Potpuno primenljivo	Osnovni alat obezbeđivanja dobre uredenosti radnog mesta
Fokusirane linije/linije sa fokusom na proizvod	Nije primenljivo	Veliki varijetet proizvoda onemogućava organizovanje proizvodne opreme sa fokusom na proizvod
Mapiranje toka stvaranja vrednosti (VSM)	Primenljivo uz veće modifikacije	Otežano ukoliko ne postoji dominantan tok materijala, moguća modifikacija u mrežu stvaranja vrednosti
Multifunkcionalni timovi	Potpuno primenljivo	Obezbeđuje fleksibilnost, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu
Obezbeđenje kvaliteta na izvoru	Potpuno primenljivo	Samoprovere radnika, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu
PDCA	Potpuno primenljivo	Postupak kontinualnog unapređivanja, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu
Poka-Yoke	Potpuno primenljivo	Sprečavanje pojave grešaka, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu
Radne ćelije sa jednokomadnim tokom	Nije primenljivo	Veliki varijetet proizvoda čini formiranje proizvodnih ćelija neracionalnim
Raspoređivanje proizvodnje prema pejsmejkeru/uskom grlu	Nije primenljivo	Zbog varijacija u kretanju materijala je teško utvrditi apriori usko grlo; usko grlo često šeta
SIPOC	Potpuno primenljivo	Osnovni alat za unapređenje procesa, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu
Smanjenje vremena izmene alata (SMED)	Potpuno primenljivo	Povećava fleksibilnost proizvodnje, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu
Standardna operacija (SOP)	Primenljivo uz manje modifikacije	Neophodno zbog smanjenja varijacija u izvršenju posla, kombinovanje standarda manjih elemenata posla
Supermarketi sa zalihama nedovršene proizvodnje	Nije primenljivo	Varijetet proizvoda i nepredvidivost tražnje otežavaju držanje međufaznih zaliha
Takt	Nije primenljivo	Dinamično okruženje (obim i varijetet) otežava organizovanje proizvodnje prema uniformnom tempu

**Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema**

Alat	Primenljivost u nerepetitivnim proizvodnim sistemima	Objašnjenje
Totalno produktivno održavanje (TPM)	Potpuno primenljivo	Povećava pouzdanost i raspoloživost proizvodne opreme, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu
Uravnoteženje opterećenja (heijunka)	Primenljivo uz veće modifikacije	Velike varijacije u tražnji otežavaju uravnoteženje opterećenja po proizvodima; moguće je na druge načine odvojiti proizvodnju od fluktuacija u tražnji
Vizuelno upravljanje	Potpuno primenljivo	Povećava transparentnost proizvodnje, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu
Vučenje proizvodnje Kanban karticama	Primenljivo uz veće modifikacije	Nije moguće uspostaviti sistem popunjavanja, teško koristiti Kanban kartice koje su specifične za deo; moguće modifikacije u pravcu generičkog Kanbana
Zaustavljanje proizvodnje	Potpuno primenljivo	Omogućava rano detektovanje i rešavanje problema, primenljivo u svakom proizvodnom sistemu

Funkcionalni raspored opreme je dominantan u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Ćelijska proizvodnja predstavlja integralni deo pravovremene proizvodnje. Korene ima u grupnoj tehnologiji, gde se oprema grupiše i dodeljuje jednom proizvodu ili vrsti proizvoda, ili grupi proizvoda koji su namenjeni specifičnom kupcu ili grupi kupaca. Pravovremena proizvodnja najbolje funkcioniše upravo u uslovima u kojima je moguće formirati posvećene proizvodne ćelije ili linije, specijalizovane samo za određenu familiju proizvoda (Hendry & Kingsman, 1989). Ćelijska proizvodnja oponaša repetitivnu proizvodnu liniju, tako što dozvoljava da se familija sličnih proizvoda obrađuje u okviru ćelije, što rezultira uravnoteženim tokom proizvodnje (Li, 2005). Idealna ćelija podržava jednokomadni tok, obezbeđuje dobru vidljivost proizvodnje i omogućava držanje minimalnih zaliha nedovršene proizvodnje (Li, 2005; Bicheno & Holweg, 2009). S obzirom na prirodu nerepetitivne proizvodnje, koja se ogleda kroz veliki broj različitih aktivnih proizvoda, resursi se dele između različitih proizvoda, što znači da u nerepetitivnim proizvodnim sistemima nije moguće (ili je teško i nepraktično) formirati posvećene ćelije.

Mapiranje toka stvaranja vrednosti (*eng. Value Stream Mapping*) je jednostavan manuelni alat za analizi postojećeg stanja i projektovanje novog stanja niza aktivnosti

koje vode proizvod od sirovog materijala do isporuke kupcu. Repetitivne proizvodne sisteme karakteriše usmeren tok stvaranja vrednosti, što značajno olakšava mapiranje. U nerepetitivnim proizvodnim sistemima može postojati više putanja stvaranja proizvoda, koje mogu biti u međusobnoj interakciji (u smislu deljenja resursa), pa se mapiranje toka stvaranja vrednosti komplikuje, i postavlja se pitanje svrsishodnosti. Pored toga, mape toka stvaranja vrednosti ne prikazuju neke parametre koji su vrlo značajni za nerepetitivne proizvodne sisteme, kao na primer redove čekanja ispred mašina i njihovu dinamiku. U nekim nerepetitivnim proizvodnim sistemima se može prepoznati dominantan tok koji se može mapirati. Ukoliko dominantan tok ne postoji, i ukoliko su varijacije u kretanju proizvoda značajne, kao alternativnu je moguće koristiti makro mapiranje stvaranja vrednosti (posmatra faze lanca snabdevanja) ili mapiranje mreže stvaranja vrednosti (Khaswala & Irani, 2001). Mapa mreže stvaranja vrednosti predstavlja napredak u odnosu na mapiranje toka stvaranja vrednosti, ali i tu nedostaju informacije koje su važnije za projektovanje novog stanja, kao što su nagomilavanje zaliha nedovršene proizvodnje, ograničenja u kapacitetu u slučaju deljenih resursa, i slično (Romero & Chávez, 2011).

Dominantan tok u repetitivnim proizvodnim sistemima omogućava analizu i *apriori* identifikovanje uskih grla. Varijabilni tokovi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima dovode do takozvanih „šetajućih“ uskih grla, čija pojava i trajanje mogu biti veoma nepredvidivi. Zbog toga je teško (ili nemoguće) utvrditi usko grlo, i definisati pejsmejker na osnovu kojeg će se raspoređivati proizvodnja.

Suri & Krishnamurthy (2003) navode da je ono što ograničava upotrebu Kanbana u nerepetitivnim proizvodnim sistemima to što Kanban predstavlja sistem popunjavanja. To znači da Kanban kartica signalizira prethodnoj fazi proizvodnje da treba da krene sa izradom kako bi popunila onu količinu proizvoda koju je konzumirala naredna faza proizvodnje. Sistem popunjavanja zahteva da se na kraju svake faze proizvodnje (kao i na kraju čitavog procesa proizvodnje, ali i na njegovom početku) nalaze određene minimalne zalihe proizvoda. Implikacije koje bi ovakav sistem imao na neki nerepetitivni sistem su veoma značajne. S obzirom da nerepetitivni proizvodni sistemi izrađuju veliki broj različitih vrsta proizvoda, implementacija Kanbana bi podrazemavala da se nakon svake faze proizvodnje drže određene zaliha nedovršene

proizvodnje za svaki proizvod. Pod uslovom da se ovakva situacija uopšte zamisli, to bi dovelo do eksplozije količine zaliha nedovršene proizvodnje, što upotrebu Kanban sistema u ovakvim situacijama čini nepraktičnom (Suri & Krishnamurthy, 2003). Dalje, pošto nerepetitivni proizvodni sistemi proizvode proizvode koji mogu biti jedinstveni, projektovani i proizvedeni prema zahtevima korisnika, i finalni proizvod je definisan tek kada se dizajnira u saradnji sa kupcem. Zbog toga nije moguće držati zalihe gotovih proizvoda, što obesmišljava sistem vučenja ukoliko se implementira na tradicionalan način, gde se vučenje inicira povlačenjem određene količine gotovih proizvoda sa skladišta. Najzad, Kanban sistem je razvijen u okruženju u kojem je tražnja stabilna i predvidiva, što nije slučaj sa nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Nepredvidiva tražnja otežava računanje takta, pa i to čini da primena tradicionalnog sistema vučenja uz pomoć Kanban kartica bude nepraktična. Junior & Godinho Filho (2010) su u svom istraživanju identifikovali 32 varijacije Kanban sistema. Od toga, 23 varijacije prate originalnu logiku funkcionisanja Kanban sistema, dok 9 varijacija ne prati originalnu logiku. Varijacije koje su pravljene sa idejom primene u nerepetitivnim proizvodnim sistemima obično napuštaju izvornu logiku Kanbana, najčešće tako što napuštaju ideju decentralizovane kontrole toka materijala, ili tako što uspostavljaju drugačije tokove informacija (Takahashi & Nakamura, 1999; Liberopolous & Dallery, 2000; Gaury et al., 2001). Chang & Yih (1994) predlažu upotrebu generičkog Kanbana u nerepetitivnim proizvodnim sistemima (ili dinamičkom proizvodnom okruženju, kako ga autori zovu), koji služi za kontrolu zaliha nedovršene proizvodnje u sistemu. U ovoj adaptaciji, Kanban kartice nisu vezane za određeni deo, kao što je to slučaj u tradicionalnom sistemu vučenja, već za slobodne kapacitete određenog resursa.

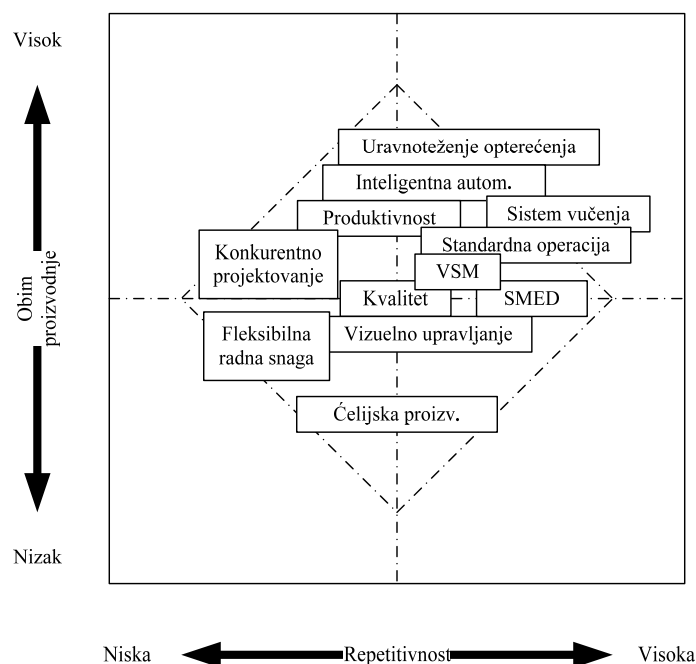
Bicheno & Holweg (2009) navode da je takt fundamentalan za tok i mapiranje repetitivnih proizvodnih sistema, i da predstavlja uniformi tempo napredovanja proizvoda kroz sve faze proizvodnje, od sirovog materijala do korisnika. Matematički, takt predstavlja količnik raspoloživog vremena u posmatranom intervalu (najčešće je to jedan dan) i prosečne tražnje (dnevne, ukoliko je jedan dan posmatrani interval). Poznat je stav da lin proizvodnja ne podrazumeva da se stvari rade brže, već da se rade pravim tempom koji je definisan tražnjom korisnika (videti, na primer, Hopp & Spearman, 2004). Za definisanje takta su bitne dve varijable: raspoloživo vreme i tražnja za proizvodima. Pretpostavka je da se tražnja neznatno menja u dužem vremenskom

periodu. Ukoliko dođe do promene tražnje, tempo zadovoljenja se može promeniti na dva načina: takt se može povećati ili smanjiti, u zavisnosti da li se tražnja povećala ili smanjila, a može se povećati ili smanjiti vreme koje je na raspolaganju za proizvodnju, takođe u zavisnosti kako se promenila tražnja. U nerepetitivnim proizvodnim sistemima problem nastaje zbog toga što je tražnja nepredvidiva, i što promene tražnje mogu biti značajne. Pored toga, količina posla u svakoj narudžbini može značajno da varira. U ovakvim situacijama je upotreba takta otežana, a često i nepraktična (Suri, 2003; Portioli-Staudacher & Tantardini, 2012b). Podešavanja takta u odnosu na promene u tražnji nisu neuobičajena stvar. Međutim, ta podešavanja imaju smisla ukoliko fluktuacije u tražnji nisu izražene, odnosno kada je tražnja relativno stabilna.

Liker (2004) smatra da je uravnoteženje opterećenja jedan od neintuitivnijih principa lin pristupa, ali da ima veliki značaj na smanjenje *muda*, *mura* i *muri*. Cilj uravnoteženja opterećenja je pronalaženje balansa u obimu proizvodnje i miks proizvoda, uz odvajanje same proizvodnje od neposredne tražnje (Liker, 2004). Ovo odvajanje sprečava periode „gladovanja“ resursa u trenucima kada je tražnja mala, odnosno probleme sa kvalitetom, kravovima mašina i defektima u trenucima kada su kapaciteti preopterećeni (velika tražnja). Kod uravnoteženja opterećenja, cilj je da se svaki tip proizvoda proizvodi u svakom vremenskom okviru. Uravnoteženje opterećenja zahteva držanje određenog kontrolisanog nivoa zaliha gotovih proizvoda, kratko vreme izmene alata, univerzalne mašine i multifunkcionalne radne timove (Ohno, 1988; Liker, 2004). Ono što je važno primetiti je da je pretpostavka za uravnoteženje opterećenja na način na koji je to urađeno u Tojoti (*heijunka*) da postoji sloboda da se poslovi puštaju u proizvodnju po redosledu koji je različit od redosleda njihovog pristizanja. Na taj način proizvođač kontroliše varijacije koje postoje u tražnji, odnosno u vremenu u kojem dolaze nove porudžbine (Slomp et al., 2009). Međutim, konvencionalno uravnoteženje opterećenja (primenom *heijunke*) je ograničeno samo na repetitivne sisteme, koji imaju ograničeni miks proizvoda i stabilnu i predvidivu tražnju (Slomp et al., 2009; Hüttmeir et al., 2009). Nerepetitivni proizvodni sistemi se odlikuju velikim varijacijama u tražnji, što posledično može uticati i na varijacije u samoj proizvodnji. Problem nastaje kod primene konvencionalnog načina uravnoteženja, s obzirom da neki preduslovi za uravnoteženje opterećenja u nerepetitivnim proizvodnim sistemima ne postoje. Na primer, kao i kod primene Kanbana, problem nastaje kod držanja kontrolisanog nivoa

zaliha gotovih proizvoda. Ovo je u nerepetitivnim proizvodnim sistemima nemoguće iz bar dva razloga: (i) broj aktivnih proizvoda može biti veoma velik, pa držanje određenog nivoa zaliha svakog od proizvoda može biti nepraktično; i (ii) finalni proizvod je definisan tek kada se dizajnira u saradnji sa kupcem što, ako je u pitanju jedinstveni proizvod, onemogućava držanje zaliha. Pored toga, McLachlin (1997) smatra da je mali broj (ili nepostojanje) hitnih porudžbina od ključnog značaja za primenu konvencionalnog načina uravnoteženja opterećenja, dok u nerepetitivnim proizvodnim sistemima hitne porudžbine mogu biti česte. Takođe, u repetitivnim proizvodnim sistemima pojedinačni poslovi nemaju specifične rokove isporuke, dok u nerepetitivnim proizvodnim sistemima svaki posao ima svoj rok isporuke. Ovo smanjuje slobodu puštanja poslova u proizvodnju, ali je ne ukida potpuno. Neki autori smatraju da varijacije u tražnji mogu biti strateška odluka kompanije (čest slučaj u nerepetitivnim proizvodnim sistemima), i da u tim slučajevima uravnoteženje opterećenja može da utiče na smanjenje fleksibilnosti proizvodnje, i da uravnoteženje opterećenja ne treba ni primenjivati (Cusumano, 1994; Narasimhan et al., 2004). Kao odgovor na problem uravnoteženja opterećenja, mnogi autori nude rešenja koja su prilagođena nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Većina radova se bavi načinima odvajanja proizvodnje od tražnje koji su zasnovani na kontroli ulaza/izlaza, i formiranju skupa poslova koji čekaju da budu pušteni u proizvodnju. Ideja je da se količina ulaza u proizvodnju ograniči količinom izlaza iz proizvodnje, čime se postiže određeni vid uravnoteženja bez uticaja na varijetet proizvoda koji se nude (Thürer et al., 2014). Slične načine odvajanja proizvodnje od tražnje nude i CONWIP i generički Kanban (Spearman et al., 1990; Chang & Yih, 1994).

Wan & Chen (2009) nude kategorizaciju proizvodnih sistema sa aspekta repetitivnosti i obima proizvodnje, kao i predlog prioriteta u korišćenju lin alata u zavisnosti od kategorije proizvodnog sistema. Kategorizacija i skup alata su predstavljeni na Slici 12.



Slika 12. Pozicija i značaj lin alata u odnosu na tip proizvodnog sistema (Wan & Chen, 2009)

Značajnost lin alata se određuje prema poziciji u odnosu na karakteristike proizvodnog sistema. Tako, na primer, za tipičan proizvodni sistem koji je blizak karakteristikama Tojote, odnosno kod koga su repetitivnost i obimi proizvodnji veliki, najznačajniji lin alati su sistem vučenja proizvodnje, uravnoteženje opterećenja i standardna operacija, odnosno alati u gornjem desnom kvadrantu, dok su alati u donjem levom kvadrantu od najmanjeg značaja. Sa druge strane, za proizvodni sistem koji se odlikuje niskom repetitivnošću i malim obimima proizvodnje su najznačajniji alati obezbeđivanje fleksibilne radne snage, vizuelna kontrola i proizvodne ćelije, odnosno alati u donjem levom kvadrantu, dok su alati u gornjem desnom kvadrantu najmanje značajni. U zavisnosti od tipa proizvodnog sistema, i značajnosti lin alata, Wan & Chen (2009) predlažu različit pristup implementaciji lin pristupa. Iako je ovaj način posmatranja implementacije lin pristupa značajan, s obzirom da uzima u obzir specifičnosti proizvodnog sistema u kojem se lin pristup implementira, on može biti pogrešan iz najmanje dva razloga: (i) ovakav način forsira primenu alata lin koji su svi razvijeni u repetitivnim proizvodnim sistemima; i (ii) ovaj pristup ne insistira na uspostavljanju sistema koji je zasnovan na lin principima, i fokus stavlja na tehnički aspekt primene lin pristupa.

4.3.4 Rezime i zaključci poglavlja

Jina et al. (1997) navode da se lin pristup ne može primeniti u nerepetitivnim proizvodnim sistemima na isti način na koji se primenjuje u repetitivnim proizvodnim sistemima. Kao jedan od osnovnih razloga navode turbulentnosti, koja se ogleda kroz varijacije u raspoređivanju proizvodnje, varijacije u miksu proizvoda, varijacije u obimu proizvodnje, i varijacije u dizajnu proizvoda (promene dizajna proizvoda u poslednjem momentu). Pored toga, repetitivni proizvodni sistemi mogu da odvoje svoj interni lanac snabdevanja od eksternog (odvajanje se može izvršiti sa oba kraja, i sa strane nabavke i sa strane isporuke), čime obezbeđuju stabilnost toka materijala unutar sistema, i proizvodnju koja se odvija u okviru definisanih granica fleksibilnosti, dok je odvajanje kod nerepetitivnih proizvodnih sistema otežano (Jina et al., 1997; White & Prybutok, 2001). Navedene karakteristike čine jake razloge protiv „slepe primene principa lin proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima“ (Jina et al., 1997). Naravno, to ne znači da se lin pristup ne može primeniti, već da je neophodan specifičan način implementacije.

Na osnovu istraživanja koje je izvršeno u ovom poglavlju, mogu se izvući sledeći zaključci koji su značajna za primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima:

- Implementacija lin pristupa se može analizirati iz dva aspekta: aspekta fundamentalnih pravila implementacije lin pristupa, i aspekta metoda, tehnika i alata lin pristupa;
- Karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema nemaju značajnog uticaja na primenu pravila i principa, što znači da se osnovna pravila implementacije lin pristupa mogu primeniti u nerepetitivnim proizvodnim sistemima uz manje modifikacije, tamo gde je to potrebno;
- Karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu imati značajnog uticaja na operacionalizaciju osnovnih pravila, odnosno na primenu metoda, tehnika i alata u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, gde je primena određenih alata znatno otežana karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema i zahteva značajne modifikacije, dok je primena nekih alata onemogućena;

- Karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu zahtevati razvoj specifičnih metoda, tehnika i alata lin pristupa.

Implementacija lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima zahteva pristup od ciljeva ka sredstvima. Dok drugi zaključak govori u prilog primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, treći zaključak poziva na oprez. Praksa implementacije lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima se ne može jednostavno prekopirati u nerepetitivne proizvodne sisteme, i neophodno je razviti pristup koji je prilagođen karakteristikama specifičnog proizvodnog okruženja. Fokus treba staviti na primenu i praćenje osnovnih principa i pravila lin proizvodnje, dok alate lin pristupa treba pažljivo birati među postojećim, i razvijati nove alate koji će predstavljati kontramere za specifične probleme koji su identifikovani u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Imajući u vidu iznesene zaključke, može se potvrditi sledeća pojedinačna hipoteza:

H1.3 Primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se razlikuje od primene lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima.

4.4 Mogućnosti rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa

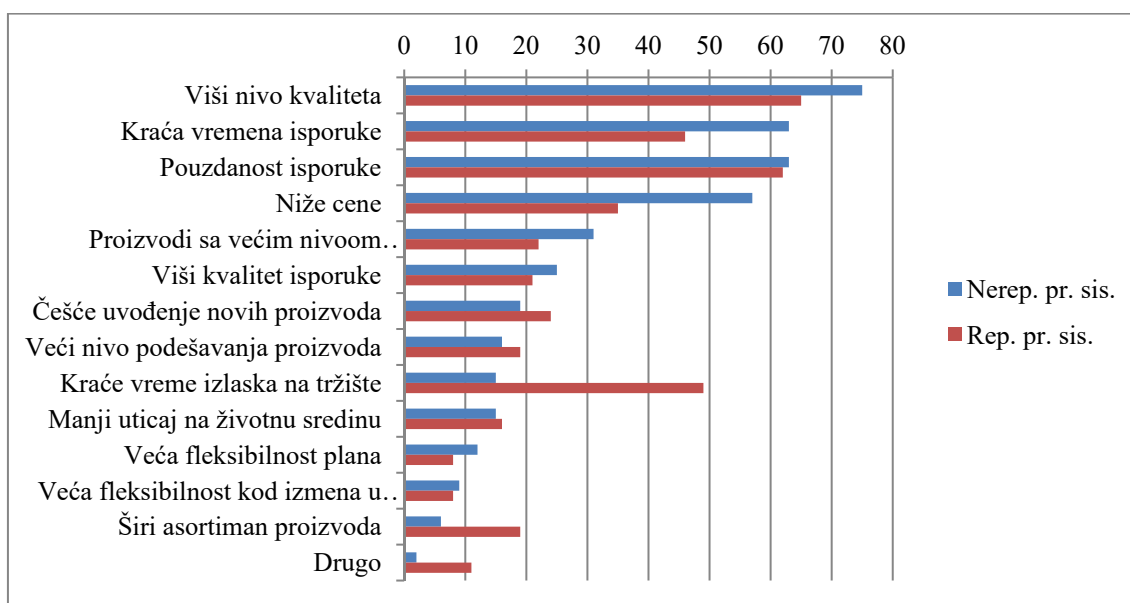
Analiza mogućnosti rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima će biti podeljena u tri dela. U prvom delu će biti analizirani ciljevi i problemi nerepetitivnim proizvodnih sistema, i njihove specifičnosti u odnosu na repetitivne proizvodne sisteme. U drugom delu će biti analizirane tri studije slučaja uspešne primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, sa uporednom analizom. Na kraju će biti izneti zaključci o mogućnostima rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa.

4.4.1 Ciljevi i problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Lin pristup može imati značajan uticaj na ostvarenje ciljeva proizvodnih sistema koji su po karakteristikama različiti od onih u kojima je lin pristup razvijen (Yang, 2013). Tantardini (2011) je u svom istraživanju ispitivao koji su dominantni poslovni ciljevi nerepetitivnih proizvodnih sistema, i poredio ih sa poslovnim ciljevima repetitivnih

proizvodnih sistema. Grafički prikaz uporedne analize ciljeva, izražen u procentima, je dat na Slici 13. Najveće razlike između repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema su primetne u kategorijama smanjenja vremena isporuke, smanjenja vremena izlaska na tržište, niže cene, širi asortiman proizvoda i proizvodi sa višim nivoom inovativnosti. Tantardini (2011) smatra da je fokus repetitivnih proizvodnih sistema na razvoj novih proizvoda očekivan, s obzirom da repetitivni proizvodni sistemi nude standardizovane proizvode i pokušavaju da anticipiraju zahteve korisnika, dok nerepetitivni proizvodni sistemi projektuju i proizvode prema specifičnim zahtevima kupaca. Sa druge strane, nerepetitivni proizvodni sistemi su više fokusirani na pouzdanost isporuke, kratka vremena isporuke, kvalitet i cenu.

Ovde je zanimljivo uporediti poslovne ciljeve nerepetitivnih proizvodnih sistema sa poboljšanjima koja su ostvorena primenom lin pristupa u repetitivnim i nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Iz poređenja se može videti da su kao najznačajniji poslovni ciljevi nerepetitivnih proizvodnih sistema identifikovani viši kvalitet, kraće vreme i veća pouzdanost isporuke, kao i niža cena proizvoda.



Slika 13. Glavni poslovni ciljevi nerepetitivnih i repetitivnih proizvodnih sistema
(Tantardini, 2011)

Nerepetitivni proizvodni sistemi se najčešće nadmeću za dobijanje novih poslova, nudeći uslove koji su jednaki ili bolji u odnosu na konkurenciju. To znači da osnovni

parametri porudžbine moraju biti konkurentni, odnosno da datumi isporuke moraju biti adekvatni, protočna vremena kratka, kvalitet na zadovoljavajućem nivou, i sve ti uz cenu koja je kupcu prihvatljiva (Kingsman et al., 1996). Osnovni problem nerepetitivnih proizvodnih sistema je upravo poštovanje parametara porudžbine koji su dogovoreni sa kupcem. Portioli-Staudacher & Tantadrini (2012a) navode dva dominantna problema, a to su obezbeđivanje pouzdanosti isporuke i definisanog kvaliteta. U cilju potpunijeg sagledavanja problema sa kojima se susreću nerepetitivni proizvodni sistemi, urađena je analiza literature o implementaciji lin pristupa u nerepetitivnim sistemima, koja je obrađena u trećoj glavi. Pregled je dat u Tabeli 17. Iz tabele se vidi da su dominantni problemi dugačka protočna vremena, neprecizna isporuka, visoki troškovi, nezadovoljavajući kvalitet, visok nivo zaliha, netransparentnost toka materijala i toka informacija. Kao problemi koji se najmanje javljaju se ističu nedostatak prostora i nezainteresovanost zaposlenih za poboljšanja. Može se videti da su problemi sa kojima se susreću nerepetitivni proizvodni sistemi slični problemima u repetitivnim proizvodnim sistemima. Razlika u karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema dovodi do toga da prioriteti u rešavanju problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima mogu biti drugačiji u odnosu na repetitivne proizvodne sisteme, a mogu dovesti i do usložnjavanja nekih od problema (na primer, varijacije u putanji materijala koje su karakteristične za nerepetitivne proizvodne sisteme nepovoljno utiču na transparentnost toka materijala, varijacije u tražnji za proizvodima nepovoljno utiču na kvalitet, i slično).

Tabela 17. Problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Problem	Eloranta (1992)	Gargeya & Thompson (1994)	Stockton & Lindley (1995)	James-Moore & Gibbons (1997)	Lenart & Nof (1997)	Jina et al. (1997)	Hendry (1998)	Storch & Lim (1999)	White & Prybutok (2001)	Muda & Hendry (2002a)	Muda & Hendry (2002b)	Li (2003)	Muda & Hendry (2003)	Braglia et al. (2006)	Lander & Liker (2003)	Guan et al. (2008)	Slomp et al. (2009)	Bokhorst & Slomp (2010)	Olhager & Prajogo (2012)	Stump & Badurdeen (2012)	Deflorin & Scherrer-Rathje (2012)	Portioli-Staudacher & Tantardini (2012a)	Portioli-Staudacher & Tantardini (2012b)	Thürer et al. (2012)	Bortolotti et al. (2013)	Djassemi (2014)	Powell et al. (2014)	Thürer et al. (2014)	Matt (2014)
Dugačka protočna vremena	X	X	X	X		X	X			X	X		X		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X
Niska pouzdanost isporuke	X					X				X	X		X		X		X	X				X	X	X	X	X		X	X
Loš kvalitet	X	X	X	X		X	X								X		X	X				X	X						X
Visoki troškovi	X	X		X		X	X			X	X		X		X		X	X		X	X	X	X		X	X			
Nezadovoljavajuća fleks.	X	X	X																		X				X				X
Visok nivo zaliha		X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X				X				
Netransp. tok materijala			X		X		X	X				X							X	X									X
Netransp. tok informacija					X		X												X										X
Slaba koord. između org. jed.					X					X	X		X						X										X
Visok stepen varijacija		X				X																							
Neadekvatna kont. toka mat.			X				X			X	X		X																
Nezad. efik. proizvodnje				X					X						X														X
Neefikasna izmena alata									X					X															
Dinamička uska grla			X											X		X					X								
Niska stand. izvršenja posla																			X										
Visok nivo rasipanja		X														X													
Nedostatak prostora																													X
Nezaint. zaposl. za pobolj.							X																						

***Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema***

Kako bi se odgovorilo na pitanje da li se problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima mogu rešavati primenom lin pristupa, neophodno je videti kakva poboljšanja može doneti sama primena. White & Prybutok (2001) su istraživali poboljšanja koja se mogu pripisati implementaciji lin pristupa. Zanimljivo je da su u svom istraživanju obuhvatili i repetitivne i nerepetitivne proizvodne sisteme. U istraživanju su učestvovala 303 repetitivna proizvodna sistema, i 191 nerepetitivni proizvodni sistem. Pregled rezultata je dat u Tabeli 18.

Tabela 18. Poboljšanja koja se mogu pripisati implementaciji lin pristupa u repetitivnim i nerepetitivnim proizvodnim sistemima (White & Prybutok, 2001)

Oblast	Proizvodni sistem	Broj slučajeva koji prijavljuju da:		Procenat pr. sis. sa poboljšanjima
		Nema poboljšanja	Ima poboljšanja	
Protočno vreme	Nerep.	25	166	86,9
	Rep.	33	270	89,1
Interni kvalitet	Nerep.	38	153	80,1
	Rep.	35	268	88,4
Eksterni kvalitet	Nerep.	65	126	65,9
	Rep.	88	215	71,0
Produktivnost rada	Nerep.	59	132	69,1
	Rep.	63	240	79,2
Nivo zaliha	Nerep.	43	148	77,5
	Rep.	38	265	87,5
Troškovi po jedinici proizvoda	Nerep.	84	107	56,0
	Rep.	95	208	68,6

Repetitivni proizv. sistemi N=303

Nerepetitivni proizv. sistemi N=191

Ono što se iz tabele može primetiti je da je procenat nerepetitivnih proizvodnih sistema koji prijavljuju unapređenja koja su nastala primenom lin pristupa niži od procenta repetitivnih proizvodnih sistema koji prijavljuju unapređenja u istim oblastima. Međutim, procenat nerepetitivnih proizvodnih sistema koji prijavljuju unapređenja je i dalje veoma visok, pa autori ističu da implementacija lin praksi ima sličan uticaj na poboljšanje operativnih performansi i u repetitivnim i u nerepetitivnim proizvodnim sistemima (White & Prybutok, 2001). Pored toga, iz tabele se vidi da su unapređenja ostvarena upravo u oblastima koja su identifikovana kao najproblematičnija u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Bortolotti et al. (2013) analiziraju kako se menja uticaj koji lin pristup ima na efikasnost i responzivnost kompanije pod dejstvom dve značajne karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema, a to su prilagodljivost proizvoda koji se nude i varijacije u tražnji.

U istraživanju su učestvovala 244 kompanije iz Finske, Švedske, Sjedinjenih Američkih Država, Nemačke, Italije, Španije, Japana i Koreje, koje su slučajno izabrane sa liste proizvodnih kompanija iz svake od zemalja. Rezultati istraživanja potvrđuju stav koji su izneli Whyte & Prybutok da primena lin pristupa pozitivno utiče na operativne performanse nerepetitivnih proizvodnih sistema.

U cilju dodatne analize mogućnosti ređavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa, u narednom delu će biti analizirane tri studije slučaja koje opisuju način na koji je lin implementiran u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, i kako je primena lin pristupa uticala na rešavanje problema koji su u tim proizvodnim sistemima identifikovani.

4.4.2 Studije slučaja primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

U stručnoj i naučnoj literaturi postoji određen broj radova koji prikazuju studije slučaja primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, kao i načine modifikacije elemenata lin pristupa kako bi bolje odgovarali zahtevima nerepetitivnih proizvodnih sistema. Mnogi od ovih radova su na nivou deskripcije, i ne daju konkretne rezultate koji bi se mogli pripisati primeni lin pristupa (videti, na primer, Stockton & Lindley, 1995; James-Moore & Gibbons, 1997; Jina et al., 1997; Hendry, 1998; Muda & Hendry, 2002a; Muda & Hendry, 2002b; Muda & Hendry, 2003; Braglia et al., 2006; Olhager & Prajogo, 2012; Deflorin & Scherrer-Rathje, 2012; Powell et al., 2014). Zbog toga su za analizu mogućnosti rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa izabrane tri studije slučaja koje opisuju način na koji je lin pristup primenjen, kao i efekte koji su primenom ostvareni.

4.4.2.1 Primena lin pristupa u mašinskoj radionici za proizvodnju prototipova i proizvoda u malim obimima

U studiji je analizirana mala mašinska radionica (kompanija A; videti Djassemi, 2014) koja snabdeva aeronautičku industriju i industriju provodnika prototipovima i proizvodima u malim obimima. Radionica ima oko 40 zaposlenih, gde je osnivač radionice i njen vlasnik. Radionica ima široku bazu korisnika, ali najveći broj poslova

dobijaju od 14 stalnih kupaca. Raspolaze prostorom od oko 1000 kvadratnih metara, gde 80% prostora čini proizvodni deo, dok 20% prostora čini administrativni deo.

Vlasnik radionice je kao osnovne probleme video kašnjenje u isporuci, kao i velike troškove prekovremenog rada. Vlasnik je lin entuzijasta, i smatrao je da implementacija lin pristupa može da reši identifikovane probleme. Implementacija je izvedena u tri faze. Prva faza je obuhvatala obuku zaposlenih, i kreiranje multifunkcionalnih timova. Druga faza je obuhvatala identifikaciju prilika za unapređenja (organizovanje Kaizen događaja) i uspostavljanje pilot projekata unapređenja. Treća faza je predstavlja implementaciju, u kojoj se pristupa realizaciji projekata unapređenja.

Program obuke je trajao 5 nedelja, gde je za sve zaposlene u kompaniji 4 dana nedeljno organizovana obuka od po 2 sata. Prvi deo obuke je obuhvatao proučavanje lin pristupa, modela implementacije lin pristupa u tri faze, i plan implementacije lin pristupa. Nakon toga je formirano 6 multifunkcionalnih timova, čiji je zadatak bio da analiziraju podatke čije je prikupljanje počelo još u periodu obuke (prikupljanje podataka je trajalo 10 nedelja) i identifikuju prilike za poboljšanja. Multifunkcionalnost timova je dalo priliku zaposlenima da se upoznaju sa načinom rada drugih organizacionih celina u kompaniji, i da steknu integralnu sliku stvaranja vrednosti za korisnika.

Timovi su radili nezavisno, i svaki tim je nakon analize podataka dao predlog pilot projekta. Predlozi pilot projekata su analizirani, i došlo se do liste od šest projekata unapređenja, za koje se smatralo da na pravi način adresiraju probleme koji su identifikovani, i koji su ušli u fazu implementacije:

1. Kod završne obrade proizvoda je identifikovan veliki broj aktivnosti koji ne dodaju vrednost, što je dovelo do velikog utroška vremena. Kao uzrok je identifikovano neadekvatno znanje u vezi sa statusom i prioritetom porudžbina. Kao kontramera je predložena dodatna obuka zaposlenih;
2. Izmena alata je identifikovana kao kritična, sa velikim brojem aktivnosti koje ne dodaju vrednost, što je povećavalo vreme izmene alata. Kao kontramera je primenjena SMED tehnika, gde je veliki broj internih aktivnosti na izmeni alata transformisan u eksterne aktivnosti, koje nisu zahtevale da mašina stoji

- prilikom njihovog obavljanja. Sastavni deo kontramera je i dodatna obuka zaposlenih o brznoj izmeni alata primenom SMED tehnike.
3. Proces projektovanja proizvoda i planiranja proizvodnje prilikom izrade ponude je analiziran, i uočeno je da postoji značajno nepoklapanje između procenjenih i ostvarenih troškova rada, gde su ostvareni troškovi rada bili u proseku 40% veći u odnosu na planirane. Prva kontramera je bila propisivanje procedure koja će standardizovati način projektovanja i planiranja, u cilju razvijanja mogućnosti benčmarkinga sa sličnim prethodnim projektima. Pored toga, identifikovana je potreba dalje analize troškova rada, kao bi se utvrdili uzroci neslaganja sa planom.
 4. Alat za sečenje je najčešće korišćeni alat u mašinskoj radionici, i često poslovi zahtevaju upotrebu 10 različitih alata za sečenje kako bi se kompletirali. Operater pronalazi, meri i postavlja odgovarajući alat na početku operacije, i vodi računa o njegovom kvalitetu tokom korišćenja. U kompaniji je ranije sproveden projekat uvođenja 5S sistema, sli je sistem korišćen samo parcijalno i nesistemski. To je dovelo do povećanja aktivnosti koje ne dodaju vrednost prilikom traženja alata koji je neadekvatno skladišten ili nije vraćen na mesto nakon upotrebe.
 5. Problemi su identifikovani u organizaciji skladištenja držača alata. Veliko vreme je trošeno kako bi se pronašao odgovarajući držač na alat. Kao kontramera je predložen novi sistem skladištenja držača alata, uz primenu vizuelnog upravljanja sa ciljem identifikovanja alata po vrsti ili tipu posla za koji se koristi.
 6. Provera kvaliteta finalnog proizvoda je identifikovana kao poslednji projekat unapređenja. Iako provera kvaliteta ne stvara vrednost, u kompaniji je nisu posmatrali kao rasipanje, s obzirom da je njihova obaveza bila da uz proizvod isporuče sertifikat da je proizvod usaglašen sa zahtevima kvaliteta. Radnici na završnoj kontroli su često bili preopterećeni, pa je došlo do pojave uskog grla. Oko 23.000\$ su bili troškovi prekovremenog rada, a usko grlo je prouzrokovalo dugačka protočna vremena, što je rezultiralo sa 76% isporuke na vreme. Nepoštovanje rokova isporuke dovodi do gubitka kupaca, i procenjeno je da gubitak jednog kupca kompaniju košta od 75.000 do 100.000\$ godišnje. Kao prvi problem je identifikovana neadekvatna komunikacija između kontrole

kvaliteta i ostalih organizacionih jedinica, gde nije postojao uvid u opterećenost kontrole kvaliteta. Veliko opterećenje je otežavalo raspoređivanje posla u kontroli kvaliteta, što je produžavalo protočno vreme i uzrokovalo kašnjenje, ili do krajnjeg korisnika ili do naredne faze proizvodnje. Kao kontramera je predložena obuka zaposlenih iz drugih organizacionih jedinica da sami vrše određene poslove kontrole kvaliteta, čime bi se rasteretili radnici u kontroli kvaliteta i olakšalo planiranje i raspoređivanje posla. Druga kontramera je standardizacija rada na kontroli kvaliteta, kao i konsolidovanje dokumentacije o kvalitetu, u cilju smanjivanja redundantnosti i potrebe za administrativnim poslom. Pored toga, uvedeni su vizuelni indikatori, koji signaliziraju kada je potrebno izvršiti kontrolu kvaliteta.

Nakon faze implementacije za svih šest projekata, izvršena je evaluacija postignutih rezultata. Ostvareni rezultati su prikazani u Tabeli 19.

Tabela 19. Ostvareni rezultati u kompaniji A nakon primene lin pristupa (Djassemi, 2014)

Metrika	Postojeće stanje	Novo stanje	Neto poboljšanje
Isporuka na vreme	76%	87%	11%
Troškovi prekovremenog rada	15.000\$	9.500\$	37%

Nakon uspešnog završetka šest pilot projekata, kompanija je nastavila sa kontinualnim unapređivanjem proizvodnje. U planu je nastavak rada na otkrivanju i eliminisanju rasipanja, kao i na razvijanju kompleksnijih i moćnijih kontramera za identifikovane probleme.

Prilikom implementacije su identifikovani i izvesni problemi, koji mogu biti značajni za buduće implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Tako je primećeno da implementacija lin pristupa može da ometa svakodnevne aktivnosti radnika, s obzirom da relativno mali broj zaposlenih onemogućava da se određeni broj ljudi posveti isključivo unapređivanju proizvodnje. Početnu obuku su obavljali eksterni konsultanti, dok su resursi za internu obuku bili ograničeni. Učešće zaposlenih je ocenjeno kao veliko (u poređenju sa ukupnim brojem zaposlenih), dok je angažovanost vlasnika ocenjena kao veoma značajna za uspeh projekata.

4.4.2.2 Primena lin pristupa u proizvodnji ventila i regulatora

Kompanija B (videti Horbal et al., 2008) se bavi proizvodnjom ventila i regulatora za vodovodne i gasnovodne instalacije. Kompanija ima oko 1000 aktivnih proizvoda, i proizvodnja se obavlja isključivo po porudžbini. Tražnja je nepravilna i sezonska. Diverzifikacija proizvoda počinje već od prve operacije. Proces proizvodnje se tipično sastoji iz livenja, mašinske obrade, montaže, testiranja, čišćenja, specijalne obrade i farbanja.

Lin pristup je implementiran samo u montaži. Za početak je urađena mapa toka stvaranja vrednosti. Nakon izrade postojećeg stanja, izvršena je analiza, i projektovano je buduće stanje u cilju evaluacije mogućih poboljšanja u proizvodnji. Kao osnovni cilj je postavljeno povećanje produktivnosti, i procenjeno je da produktivnost može biti povećana za 20% uz korišćenje istih resursa.

Ocenjeno je da montaža ima veliki deo aktivnosti koje ne dodaju vrednost, kao što su čekanja, posezanja i nepotrebno kretanje u okviru radnog mesta. Odlučeno je da je eliminisanje rasipanja ključno za postizanje definisanog cilja, i odlučeno je da se u tu svrhu upotrebe sledeći alati lin pristupa:

1. Jednokomadni tok u okviru ćelija;
2. Standardizacija operacija;
3. Adekvatno izlaganje materijala na radnom mestu;
4. Snabdevanje materijalom prema *milk run* principu, u cilju smanjenja zaliha nedovršene proizvodnje i eliminisanja potrebe da radnik napušta radno mesto; i
5. Uspostavljanje sistema vučenja proizvodnje.

Pre implementacije, svaki alat je razmatran na konceptualnom (šta je cilj implementacije alata?) i tehničkom nivou (na koji način se alat može tehnički realizovati?). Nakon analize je utvrđeno da je potrebno adaptirati alate 4 i 5, kako bi mogli da budu primenjeni u specifičnom okruženju.

U okviru montaže je identifikovan dominantan tok, što je omogućilo formiranje montažnih ćelija. Prilikom implementacije je primećeno da problem može predstavljati uravnoteženje opterećenja u okviru ćelije, s obzirom na različite poslove koji zahtevaju

različito vreme montaže na pojedinim fazama. U studiji slučaja se ne pominje da li se taj problem javio prilikom implementacije, i ako jeste kako je rešen. Kao rezultat uspostavljanja ćelijske montaže se prijavljuje poboljšanje efikasnosti proizvodnje za 33%, kao i smanjenje prostora koje je zauzimala oprema za 50%.

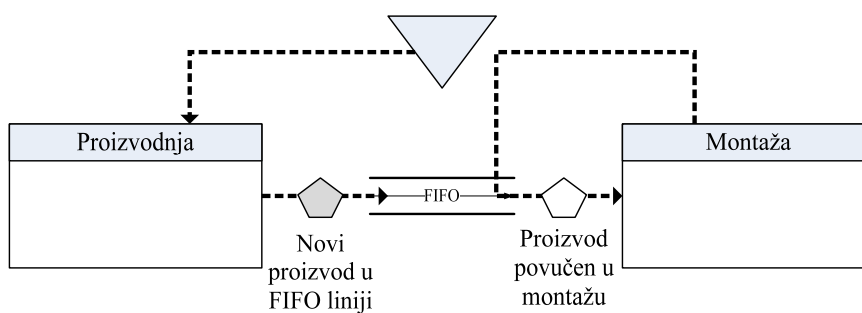
U cilju standardizacije operacije je izvršeno snimanje rada video kamerom. Prilikom analize je utvrđeno da samo oko 40% aktivnosti dodaje vrednost proizvodu. Kao kontramera je urađeno 25 standardizovanih instrukcija za izradu 30 različitih proizvoda. Rezultat je 10% poboljšanja u kvalitetu proizvoda.

U cilju unapređenja izlaganja materijala na radnom mestu su razvijeni specijalni dodavači. Zbog različitih tipova proizvoda, materijal se na radno mesto doprema u kompletima, koji sadrže sve elemente za montažu jednog proizvoda. Rafovi u koje se slažu kompleti za montažu su prostorno ograničeni, i u njih se stavlja dovoljno kompleta koji mogu da obezbede dva sata rada na montaži, dok je maksimalni kapacitet rafa tri sata posla. Pored toga, u cilju smanjenja grešaka prilikom montaže, različiti kompleti su kodirani različitim bojama, prema vrsti proizvoda koji se montiraju.

Česte promene u zahtevima za proizvodima su dovodile do promena u planovima, što je kao posledicu imalo da su podaci u ERP sistemu zastareli u momentu kada se koriste. Promene su se dešavale nekoliko puta dnevno, dok se baza ERP sistema ažurirala jednom dnevno, što je kao posledicu imalo visok nivo zaliha materijala u montaži (zaliha je bilo dovoljno za, otprilike, 8 dana).

Ocenjeno je da je sistem vučenja koji bi koristio supermarkete nepraktičan, zbog velikog broja različitih proizvoda. Proizvodi su analizirani, i podeljeni u tri kategorije: trkači, ponavljači i stranci. Tražnja za trkačima se obično javljala bar jednom nedeljno, i proizvodili su se u relativno velikim obimima (u poređenju sa drugim proizvodima). Za montažu trkača je uspostavljen klasičan sistem vučenja, uz upotrebu Kanban kartica i supermarketa. Ponavljači su se javljali u dve grupe: (i) oni koji se traže regularno, ali retko; i (ii) oni za kojima je tražnja neregularna, i retka. Za prvu grupu je takođe uspostavljen klasičan sistem vučenja, kao i za trkače. Za drugu grupu, kao i za strance je uspostavljen sistem sekvencijalnog vučenja, odnosno FIFO sistem kretanja materijala iz prethodne faze u montažu, gde je kapacitet FIFO linije ograničen na maksimalno pet

paleta. Ovaj sistem vučenja funkcioniše po principu periodičnog puštanja poslova, a implementiran je zajedno sa sistemom snabdevanja materijalom po *milk run* principu. Snabdevač snabdeva radna mesta materijalom, i skuplja Kanban kartice za materijal koji je utrošen. Ukoliko se radi o trkačima, kartice iz montaže vraća u proizvodnju, kako bi se popunila količina materijala koja je utrošena u montaži. Ukoliko se radi o ponavljačima ili strancima, snabdevač ih prema FIFO principu snabdeva materijalom iz proizvodnje koji je dovoljan za dva sata rada. Kada snabde radna mesta, sa table za planiranje uzima karticu za proizvod koji je sledeći na redu za proizvodnju, i nosi je u proizvodnju dao signal da se počne sa njegovom izradom. Primer sekvencijalnog sistema vučenja je dat na Slici 14.



Slika 14. Sekvencijalni sistem vučenja proizvodnje (Horbal et al., 2008)

Na taj način se montaža ne kontroliše ERP sistemom, već se snabdeva komponentama iz proizvodnje prema FIFO principu, ali u količinama koje su ograničene. Ovakvima kombinovanim sistemom vučenja je dostupnost komponenata povećana sa 35% na 95%, dok je prostor za skladištenje komponenti smanjen za 50%.

4.4.2.3 *Primena lin pristupa u proizvodnji dekorativnih keramičkih pločica*

Kompanija C (videti Lander & Liker, 2007) se bavi izradom dekorativnih keramičkih pločica. Kompanija nudi oko 6.400 različitih proizvoda iz kataloga, ali i po specifikaciji kupca, i realizuje prodaju od oko 2.000.000\$ godišnje. Ključni kupci su krajnji korisnici, dizajneri i distributeri.

Kompanija je imala problema sa kvalitetom, protočnim vremenom, poštovanjem rokova isporuke, troškovima rada i nivoom zaliha. U cilju implementacije lin pristupa su

angažovani eksterni konsultanti. Sastanci sa konsultantima su organizovani jednom nedeljno, uz odlazak u *gembu* kada je to potrebno. Način rada je bio takav da su konsultanti razvijali konceptualno rešenje, gde su objašnjavali princip funkcionisanja određenog alata lin pristupa i filozofske aspekte zašto je alat potreban, dok su zaposleni razvijali tehnički deo rešenja.

Vremena ciklusa nisu fiksna, nije se mogao uspostaviti stabilan takt, posao nije bio visoko specificiran (umetnički mentalitet koji je bio prisutan je predstavljao problem prilikom standardizacije rada) i način merenja izlaza nije bio jasan. Sve ovo je identifikovano kao prepreka priliko primene lin pristupa. Kretanje i transpost nisu shvatani kao rasipanja, već kao sastavni deo posla u kojem radnik ima priliku da se odmori i koji je zbog toga neophodan. Svest o defektima je takođe bila niska, s obzirom da su se defekti uglavnom prodavali kao unikati ili po nižim cenama, pa nisu viđeni kao problem. Varijacije u karakteristikama proizvoda koji se proizvode su velike, pa je teško standardizovati kvalitet proizvoda. Varijacije u tražnji su dovodile do neuravnoteženog opterećenja radnih mesta u proizvodnji. Posao koji se obavlja je nerepetitivan, a znanje nije strukturirano, pa je način rada sličan zanatskoj proizvodnji. Pored toga, standardi kvaliteta su često estetske prirode, pa ih je teško propisati. Disciplina u procesu je bila slaba, i radnici nisu bili motivisani da eliminišu rasipanja. Sistem guranja proizvodnje je korišćen, i posao se gomilao u različitim organizacionim jedinicama kako bi bilo moguće ostvariti lokalne optimume. Nisu obrađivane pojedinačne porudžbine, već su se gomilale i zajednički obrađivale prema sličnosti zahteva. To je rezultiralo dugačkim protočnim vremenima.

Prvi zadatak je bio unapređenje i ubrzavanje toka materijala, pa je uspostavljanje sistema vučenja proizvodnje postalo centralna tema implementacije. Proizvodi su klasifikovani sa stanovišta ponovljivosti na ponavljače i strance. Ponavljači (proizvode se u relativno visokim obimima, uz donekle predvidivu tražnju) bi se proizvodili za skladište, dok bi se stranci proizvodili po porudžbini. Kada je tražnja za strancima mala, kapaciteti se popunjavaju proizvodnjom ponavljača koji se skladište. Za skladište se proizvodi samo deo proizvoda, i to onih koji imaju stalnu i stabilnu tražnju. U proizvodnji ponavljača je uspostavljen klasičan sistem vučenja, uz upotrebu Kanban kartica. Stranci su se proizvodili prema direktnim zahtevima od strane korisnika. Da bi

se sprečilo kretanje materijala po sistemu guranja, ideja je bila da se na neki način ograniči količina materijala koja se pušta u proizvodnju. Materijal se pušta u proizvodnju u kutijama koje su ograničenog kapaciteta, a veličina kutije je određena maksimalnom količinom posla kojom treba snabdeti svako radno mesto. Količina posla je prevođena u količinu materijala uz pomoć takta, odnosno brzine proizvodnje koja je neophodna kako bi se ispunila tražnja. Takt se računa na osnovu prosečne tražnje, i mogu se javiti problemi ukoliko su fluktuacije u tražnji velike. Autori ne navode da li su se takvi problemi javili prilikom implementacije lin pristupa, i ako jesu kako su rešavani. Kutije sa materijalom se obrađuju na radnom mestu po redosledu koji je definisan datumom putanja posla u proizvodnju (od najstarijih ka najnovijim poslovima) ili po datumu isporuke (od najbližih ka najdaljim). Rezultat je samoregulišući sistem prioritizacije poslova na svakom radnom mestu. Ograničenje zaliha nedovršene proizvodnje je olakšalo planiranje, skratilo protočna vremena i učinilo ih predvidljivijim, a poboljšana je i komunikacija i vidljivost problema.

Svaki zaposleni je bio odgovoran za kontrolu kvaliteta na svom radnom mestu. Finalna kontrola kvaliteta je zadržana, gde su analizirani uzroci lošeg kvaliteta u celom procesu, i gde su se predlagale kontramere za identifikovane probleme u vezi sa kvalitetom.

Za posao je specificiran standardni redosled operacija. Kako bi se pojednostavio rad na radnim mestima, specificiran je pretežni redosled izvođenja operacija, uz savete kako bi trebalo postupati sa proizvodima kod kojih je redosled operacija drugačiji.

Radnici su aktivno uključeni u predlaganje poboljšanja, a predlozi za poboljšanja su usvajani tek nakon temeljne analize i provere mogućih efekata. Nakon implementacije lin pristupa su sumirani efekti, kako bi se videlo da li su ostvareni osnovni ciljevi. Prikaz efekata je dat u Tabeli 20.

Nakon implementacije lin pristupa je došlo do povećanja prodaje od 70,5%, i kompanija je uspela da zadovolji uvećanu tražnju bez velikih dodatni ulaganja. Uspostavljen je sistem za kontinualno poboljšavanje proizvodnje. Kako bi se motivisali radnici da aktivno učestvuju u analizi problema i traženju rešenja, uspostavljen je sistem gde se problemi vide kao prilike za poboljšanja, i gde se ljudi ne posmatraju kao uzročnici problema. Uspostavljen je sistem vizuelnog upravljanja, kako bi se dodatno povećala

transparentnost proizvodnje, i kako bi se olakšalo uočavanje problema. Znanja su sistematizovana, u cilju lakšeg razvoja zaposlenih. Najznačajniji pokazatelji se prate na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou (obim proizvodnje, protočno vreme, defekti, pouzdanost isporuke i ostvareni profit). Sastanci se održavaju jednom nedeljno, i na njima se analiziraju uzroci problema koji su identifikovani, uz korišćenje alata kao što su PDCA i 5 zašto.

Tabela 20. Efekti primene lin pristupa u kompaniji C (Lander & Liker, 2007)

Metrika	Pre	Posle	Procentualna promena
Profit [procenat od prodaje]	12,3	20,1	63,4
Troškovi rada [\$ plate/\$ prodaje]	0,44	0,39	-11,3
Produktivnost [\$ plate/satu rada]	41,63	61,34	47,4
Prosečno protočno vreme [dana]	17,4	10,7	-38,5
Dogovoreno protočno vreme [nedelja]	6 do 8	1 do 5	-50
Isporuka na vreme [procenat od svih isporuka]	79	93,1	17,9
Prosečno kašnjenje [dana]	8,2	6	-26,8
Zalihe [meseći]	3,75	1,30	-65,3
Obrt zaliha [obrta po godini]	3,2	9,2	187,5
Procenat defekata [defektnih m ² /prodatih m ²]	9,8	7,5	-23,5

Pored svega navedenog, implementacija lin pristupa je uticala i na radno okruženje, gde je departmentalizacija izgubila na značaju, kao i lokalna optimizacija, i gde zaposleni posmatraju ceo proces i zajedno rade na rešavanju problema.

4.4.2.4 Uporedna analiza studija slučaja

U načinima na koji je lin pristup implementiran u prikazanom studijama slučaja se mogu naći sličnosti i razlike. Uporedna analiza načina implementacije lin pristupa je data u Tabeli 21.

Iz tabele se vidi da je jedino u kompaniji A korišćen eksplicitan model implementacije lin pristupa. Međutim, pogrešno bi bilo zaključiti da je implementacija u kompanijama B i C bila *ad hoc*. U kompaniji B je implementacija započela detaljnim snimkom stanja i identifikacijom problematičnih područja. Iako nije eksplicitno navedeno, može se zaključiti da je implementacije u velikoj meri oslonjena na naučni metod, odnosno na PDCA ciklus. U slučaju kompanije C, autori se implicitno pozivaju na metod koji predlaže Liker (2004). Iz navedenog se može zaključiti da je proces implementacije u sve tri kompanije bio strukturiran. Sa druge strane, u sva tri slučaja je implementacija

prilagođena konkretnoj kompaniji, i ne postoje jasne preporuke za generalizaciju načina implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Tabela 21. Uporedni prikaz načina implementacije lin pristupa u opisanim studijama
slučaja

Kriterijumi	Kompanija A	Kompanija B	Kompanija C
Postoji eksplicitan model implementacije	Da	Ne	Ne
Implementacija je zasnovana na principima	Ne	Da	Da
Korišćeni su standardni alati lin pristupa	Da	Da	Da
Alati lin pristupa su prilagođeni	Ne	Da	Da
Razvijeni su specifični alati lin pristupa	Ne	Da	Da
Obuka zaposlenih	Ekst/Int	Ekst/Int	Ekst/Int

U kompaniji A se ne pominju principi lin pristupa kao osnova implementacije, niti se pominju konceptualni aspekti alata koji su implementirani. Posledica toga je da su prilikom implementacije korišćeni samo standardni alati lin pristupa, koji su pažljivo birani kako bi mogli da se primene u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Sa druge strane, i u kompaniji B i u kompaniji C su razmatrani principi lin pristupa, i to eksplicitno ili implicitno, kroz analizu konceptualnih aspekata lin alata. Zbog toga je implementacija lin alata u kompanijama B i C tekla na tri nivoa. Primenjeni su alati koji su standardni u situacijama u kojima je to bilo moguće. Neke situacije su zahtevale modifikaciju postojećih alata, kako bi se oni prilagodili specifičnim uslovima, dok je u nekim situacijama bio neophodan razvoj specifičnih kontrameta kako bi se rešili konkretni problemi. U kompaniji A je najavljen razvoj kompleksnijih kontrameta u budućnosti, ali nema podataka da li je to rađeno, i na koji način.

U sve tri kompanije je implementacija lin pristupa inicijalno bila ograničena, odnosno fokusirana na probleme koje je moguće brzo i jednostavno rešiti (kompanija A), ili probleme koji su percipirani kao najznačajniji (kompanije B i C). U sve tri studije slučaja se navodi da se sa implementacijom lin pristupa nastavilo i nakon ostvarivanja inicijalnih rezultata, što govori da se u nerepetitivnim proizvodnim sistemima interesovanje za rešavanje problema primenom lin pristupa može obezbediti ili kroz ostvarivanje brzih rezultata, ili kroz ostvarivanje rezultata u rešavanju najznačajnijih problema.

Primećuje se da su u sva tri slučaja angažovani eksterni konsultanti za potrebe obuke zaposlenih. Inicijalno je obuka bila eksterna, gde su konsultanti obučavali zaposlene. Nakon toga se znanje širilo kroz internu obuku, gde su se zaposleni obučavali međusobno. U kompanijama B i C je istaknut značaj učenja kroz rad, gde su zaposleni obučavani u pogledu razumevanja konceptualnih aspekata lin pristupa, dok su tehničke aspekte implementacije lin pristupa sami razvijali.

Problemi koji su identifikovani u analiziranim studijama slučaja predstavljaju probleme za koje je analiza literature pokazala da su dominantni u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Uz to, to su problemi kod kojih se primenom lin pristupa mogu ostvariti značajni efekti, bilo da se radi o repetitivnim ili nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

4.4.3 Rezime i zaključci poglavlja

Na osnovu rezultata istraživanja koje je obavljeno u ovom delu delu, kao i na osnovu prikazanih studija slučaja implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, može se zaključiti sledeće:

- Na osnovu pregleda literature, može se zaključiti da su dominantni problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima vezani za dugačka protočna vremena, nisku pouzdanost isporuke (kašnjenje), nezadovoljavajući kvalitet, visoke troškove i visok nivo zaliha (pre svega nedovršene proizvodnje);
- Problemi nerepetitivnih proizvodnih sistema se u izvesnoj meri podudaraju sa problemima repetitivnih proizvodnih sistema;
- Razlike između repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema u pogledu problema i njihove prioritizacije su posledica razlika u karakteristikama pomenutih proizvodnih sistema, kao i različitih ciljeva koje ovi proizvodni sistemi imaju;
- Analiza studija slučaja pokazuje da primena lin pristupa može biti uspešna u nerepetitivnim proizvodnim sistemima; iako studije slučaja pokazuju da implementacija može da bude uspešna, ne daju jasne preporuke kako se način implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima može generalizovati.

Imajući u vidu iznesene zaključke, može se potvrditi sledeća pojedinačna hipoteza:

H1.4 Moguće je rešavati probleme u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa.

Pored potvrde hipoteze, može se zaključiti da primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima može dovesti do unapređenja njihovih karakteristika. Prikaz karakteristika elemenata nerepetitivnih proizvodnih sistema nakon primene lin pristupa je dat u Tabeli 22.

U pogledu proizvoda, nakon primene lin pristupa bi karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema ostale nepromenjene. Ono na čemu se može raditi je povećanje modularizacije proizvoda, ali samo do nivoa koji ne ugrožava konkurentsku poziciju proizvodnog sistema koja je zasnovana na varijetetu proizvoda koji se nude i mogućnostima prilagođavanje proizvoda zahtevima korisnika.

Kod tehničke komponente takođe nema mnogo prostora za promene, s obzirom da su njene karakteristike takve da podržavaju proizvodnju širokog skupa različitih proizvoda u promenljivim obimima. Nerepetitivni proizvodni sistemi bi mogli imati veliku korist od unapređenja fleksibilnosti, gde bi se više radilo na povećanju efikasnosti izmene alata, koja često nije među prioritetima. Ono što se može unaprediti je tok materijala, gde treba težiti njegovom ubrzanju i povećanju transparentnosti. Takođe, treba težiti smanjenju zaliha nedovršene proizvodnje, čime će se obezbediti tešnje povezivanje različitih faza proizvodnje, gde će problemi postati uočljiviji. Pored toga, smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje utiče i na ubrzavanje toka materijala i povećanje transparentnosti.

Socijalni podsistem se značajno može promeniti, i u tom segmentu nerepetitivni proizvodni sistemi se po karakteristikama mogu značajno približiti repetitivnim proizvodnim sistemima.

***Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema***

Tabela 22. Karakteristike elemenata nerepetitivnih proizvodnih sistema nakon implementacije lin pristupa

	Elementi	Karakteristike elemenata u nerepetitivnim proizvodnim sistemima nakon primene lin pristupa
Proizvod	Konstrukcija proizvoda	Jednostavni proizvodi, ili složeni proizvodi koji zahtevaju montažu
	Prilagođavanje proizvoda	Čisto prilagođavanje ili „skrojeno“ prilagođavanje, gde korisnik poptuno ili delimično kontroliše parametre projektovanja proizvoda; rana diferencijacija; ponuda modularnih proizvoda
	Varijetet proizvoda	Širok skup različitih ili jedinstvenih proizvoda
	Životni ciklus proizvoda	Kratak, nekada se proizvode jedinstveni proizvodi
	Obim proizvodnje	Mali, u odnosu na ukupan obim izlaza iz proizvodnog sistema
Tehnički podsystem	Tip proizvodne opreme	Univerzalna oprema opšte namene
	Nivo automatizacije	Normalna ili fleksibilna automatizacija
	Raspored opreme	Funkcionalni raspored
	Fleksibilnost opreme	Tehnološka i organizaciona fleksibilnost (izvršavanje različitih operacija na jednoj mašini i efikasna promena alata) i strukturalna fleksibilnost (fleksibilan tok materijala i operacija; fleksibilnost putanje materijala, odnosno mogućnost različitog redosleda odvijanja operacija)
	Tok materijala	Jednofazni ili usmeren višefazni prekidni tok uz mogućnost preskakanja pojedinih koraka; varijabilni višefazni prekidni tok; brz i transparentan tok materijala
	Sistem upravljanja tokom materijala	Kombinovani sistem kontrolisanog guranja/vučanja proizvodnje, uz smanjenje potreba za dispečiranjem
	Vrsta bafera (zaliha)	Zalihe sirovog materijala i zalihe nedovršene proizvodnje, ili samo zalihe nedovršene proizvodnje, uz težnju ka eliminaciji jednih i drugih
	Vrsta materijala (ulaza)	Nepredvidive potrebe za širim skupom materijala
Socijalni podsystem	Skup znanja	Širok skup znanja za izvođenje više različitih operacija
	Ovlašćenja zaposlenih	Opunomoćeni; pouzdani
	Zaduženja zaposlenih	Promenljive pozicije
	Organizacija rada zaposlenih	Timski rad ili samorukovodeće grupe
	Metod rada	Standardizovan, ili sačinjen od skupa standarda za manje elemente posla
	Način vođenja zaposlenih	Opunomoćavanje zaposlenih da sami donose odluke
Organizacioni podsystem	Proizvodna strategija	Proizvodnja po porudžbini; projektovanje po porudžbini
	Poslovna orijentacija	Orijentacija ka procesima
	Način donošenja odluka	Participativno donošenje odluka
	Nivo detalja potreban za donošenje odluka	Visok nivo detalja koji se mogu utvrditi na jednostavan način
	Nivo na kojem se donose odluke	Odluke se donose na nižim nivoima
	Vremenski horizont odlučivanja	Kratak vremenski horizont, uz usmerenost ka ostvarenju dugoročnih ciljeva
	Neizvesnost u odlučivanju	Viši nivo neizvesnosti
	Brzina promena	Brze i dinamične promene, uz težnju ka ostvarenju višeg nivoa stabilnosti

Organizacioni podsistem takođe može pretrpeti značajne promene, jer se opunomoćavanjem zaposlenih stvaraju uslovi da se donošenje odluka spusti na niži nivo, kao i da se odluke donose konsenzusom. Smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje može naglasiti orijentaciju na čitav proces, i eliminisati pojavu lokalne optimizacije. Metod rada se može specificirati u potpunosti, a tamo gde to nije moguće treba težiti ka standardizaciji manjih elemenata rada. Umesto klasičnog sistema guranja proizvodnje, primenom principa lin pristupa se može uspostaviti kombinovani sistem vučenja i kontrolisanog guranja proizvodnje.

5. Razvoj modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Ograničen uspeh implementacije lin pristupa se može jednim delom pripisati nedostatku efektivne metodologije implementacije lin pristupa (Behrouzi & Wong, 2011). Odluka o načinu na koji će lin pristup biti implementiran se najčešće donosi na osnovu zdravog razuma i intuicije menadžera koji je zadužen za implementaciju, i retko se bazira na logički zasnovanom skupu činjenica i koraka koji bi trebalo da vode implementaciju (Karim & Arif-Uz-Zaman, 2013). Kod repetitivnih proizvodnih sistema je ovaj problem manje izražen, s obzirom da je najbolja praksa lin pristupa razvijana upravo u takvom okruženju, pa se u implementaciji lin pristupa može osloniti na metode koji su korišćeni u drugim kompanijama. Kod nerepetitivnih proizvodnih sistema je situacija nepovoljnija, s obzirom da se njihove karakteristike razlikuju od karakteristika proizvodnih sistema u kojima je razvijana praksa lin pristupa.

U naučnim časopisima je objavljen značajan broj radova koji opisuju okvire ili modele implementacije lin pristupa. Najveći je broj generičkih modela, koji su razvijeni nezavisno od tipa okruženja u kojem bi trebalo da se primenjuju (Anand & Kodali, 2010). Ipak, utisak je da su ponuđeni okviri i modeli dominantno razvijani za potrebe repetitivnih proizvodnih sistema, ili proizvodnih sistema koji su po karakteristikama njima slični, i da je samo veoma mali broj modela razvijen za potrebe nerepetitivnih proizvodnih sistema (videti, na primer, Jina et al., 1997). Uspešnost primene određenog modela u velikoj meri zavisi od načina na koji model uzima u obzir karakteristike organizacionog okruženja u kojem se primenjuje (Karim & Arif-Uz-Zaman, 2013). Pored toga, modeli su često apstraktni, zanemaruju principe lin pristupa i fokusiraju se na alate, i retko su podržani dokazima praktične implementacije, posebno u nerepetitivnim proizvodnim sistemima (Karim & Arif-Uz-Zaman, 2013). Pored toga, modeli divergiraju u formi i karakteristikama, što otežava izbor odgovarajućeg modela implementacije.

Praktičarima je značajna teorijska osnova u vidu okvira za implementaciju, kako bi znali da su odluke vezane za primenu principa lin pristupa zasnovane na logički ispravnim pretpostavkama (Wacker, 1998), čime razvoj modela implementacije lin pristupa dobija na značaju. Anand & Kodali (2010) navode kako su u naučnoj i stručnoj

literturi dominantni konceptualni modeli lin pristupa, čiji je fokus pre svega sadržaj (elementi) lin pristupa, dok je broj modela same implementacije lin pristupa, koji opisuju redosled koraka u primeni lin pristupa, značajno manji. Pored toga, autori u obe kategorije modela identifikuju značajne nedostatke, kao što su parcijalnost u pristupu, apstraktnost, nejasna svrha i slično (Anand & Kodali, 2010). Zaključak je da je neophodan razvoj modela lin pristupa u obe kategorije modela (konceptualni i modeli implementacije) (Anand & Kodali, 2010). Ovo je posebno značajno za nerepetitivne proizvodne sisteme, s obzirom da je neophodno prvo opisati kontekst primene lin pristupa u specifičnom okruženju, a zatim predstaviti način na koji se lin pristup može primeniti u datom kontekstu.

U nastavku disertacije je dat prikaz formalizacije originalnog modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Formalizacija modela je tekla u dva pravca. Prvi pravac predstavlja razvoj konceptualnog okvira implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, čiji je zadatak da principe lin pristupa, koji u dobro poznati i primenjivani u repetitivnim proizvodnim sistemima, stavi u kontekst nerepetitivnih proizvodnih sistema sa svim svojim karakteristikama i specifičnostima. Cilj konceptualnog okvira je da da novi prikaz i tumačenje principa lin pristupa u svetlu karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema, i da analizira mogućnosti korišćenja prilagođenih principa lin pristupa u svrhu aktivnog oblikovanja proizvodnog okruženja. Drugi pravac proizilazi iz prvog, i predstavlja formalizaciju modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Model implementacije sugerše niz koraka primene prilagođenih principa lin pristupa u cilju unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Dominantan metod u ovom delu istraživanja je metod dedukcije, koji podrazumeva razvoj teorije koja će naknadno biti potkrepljena prikupljanjem i analizom podataka. Prikaz formalizacije modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema potvrđuje pojedinačnu hipotezu:

H1.5 Moguće je formalizovati model implementacije lin pristupa u nerepetitivnom proizvodnom sistemu.

Pored potvrde hipoteze, ovaj deo istraživanja je značajan i sa praktičnog aspekta, jer praktičarima daje logičkih pretpostavki koje su namenjene vođenju implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

U prethodnoj glavi disertacije su potvrđene pojedinačne hipoteze H1.1 do H1.4. Njihovom potvrdom, kao i potvrdom pojedinačne hipoteze H1.5 potvrđena je posebna hipoteza:

H1 Moguće je implementirati lin pristup u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

5.1 Konceptualni okvir implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Hakes (1991) ističe kako je postojanje konceptualnih okvira neophodno kako bi se teorija prevela u praksu na sistematičan način. Konceptualni okvir predstavlja propisani skup stvari koje bi trebalo uraditi, i jasnu sliku ciljeva koji će se ostvariti ukoliko se okvir primeni (Yusof & Aspinwall, 2000; Aalbrektse et al., 1991). Konceptualni okvir predstavlja ideju-vodilju, i ima zadatak da menadžerima obezbedi pravac u kojem bi promene trebalo da se kreću (Anand & Kodali, 2010). Konceptualni okviri mogu biti prikazani grafički (dijagramski) ili deskriptivno. Aalbrektse et al. (1991) ističu da se neophodnost postojanja konceptualnog okvira ogleda, pre svega, u sledećem:

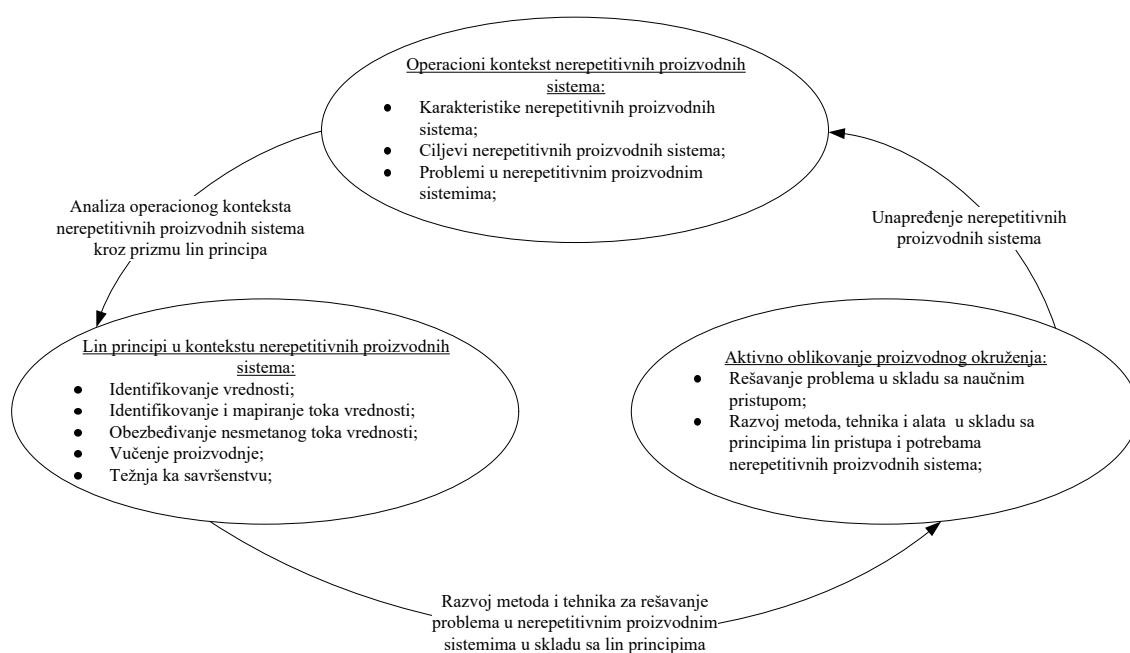
- Ilustracija filozofije procesa promene koji treba usvojiti kako bi se saopštila nova vizija organizacije;
- Primoravanje menadžmenta da se posveti skupu ključnih problema, koji bi u suprotnom bili zanemareni;
- Davanje uvida u snage i slabosti organizacije.

Razvoj konceptualnog okvira lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je veoma značajan, iz više razloga:

- Neophodno je analizirati specifičnosti operacionog konteksta nerepetitivnih proizvodnih sistema, koji je različit od operacionog konteksta u kojem je lin pristup razvijen;

- Neophodno je analizirati principe lin pristupa u okvirima operacionog konteksta nerepetitivnih proizvodnih sistema, i prilagoditi ih specifičnom proizvodnom okruženju;
- Neophodno je analizirati mogućnosti aktivnog oblikovanja proizvodnog okruženja u nerepetitivnim proizvodnim sistemima u skladu sa prilagođenim principima lin pristupa.

U skladu sa identifikovanim potrebama je razvijen konceptualni okvir lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Konceptualni okvir je postavljen na osnovu generičkog modela implementacije lin pristupa, a koji je razvijen za potrebe „konvencionalnih“ lin sistema (Bateman et al., 2014; Womack & Jones, 1996). Grafički prikaz konceptualnog okvira lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je dat na Slici 15.



Slika 15. Konceptualni okvir lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Konceptualni okvir ima tri elementa: operacioni kontekst nerepetitivnih proizvodnih sistema, lin principi u kontekstu nerepetitivnih proizvodnih sistema i rešavanje problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima u skladu sa principima lin pristupa. Elementi konceptualnog okvira su ciklički povezani, sa ciljem da se istakne

kontinuirani napor ka unapređenju proizvodnog sistema koji je karakterističan za lin pristup.

Konceptualni okvir je sa namerom predstavljen na višem nivou apstrakcije, s obzirom da mu je osnovni cilj da opiše kontekst u kojem se lin pristup može primeniti u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, ali ne i samu implementaciju. Model implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima će biti predstavljen kasnije u disertaciji.

5.1.1 Operacioni kontekst nerepetitivnih proizvodnih sistema

Prva element konceptualnog okvira lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima predstavlja definisanje i razumevanje operacionog konteksta nerepetitivnih proizvodnih sistema. Ovaj element je ključan, jer definiše kontekst u kojem treba posmatrati lin pristup, odnosno ističe karakteristike specifičnog proizvodnog okruženja.

Pravilno razumevanje operacionog konteksta nerepetitivnih proizvodnih sistema je veoma značajno jer u velikoj meri određuje način na koji će lin pristup biti implementiran, a time i uspeh same implementacije. Operacioni kontekst se posmatra kroz tri elementa: (i) karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema; (ii) ciljevi nerepetitivnih proizvodnih sistema; i (iii) problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Dve dominantne karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema su nestalnost i nepredvidivost tražnje i varijetet proizvoda koji se nude na tržištu, odnosno visok stepen prilagođavanja karakteristika proizvoda specifičnim zahtevima korisnika. Ove dve karakteristike imaju značajan uticaj i na ostale karakteristike i elemente nerepetitivnih proizvodnih sistema (pre svega na način na koji se organizuje tehnička komponenta proizvodnih sistema, opremu koja se koristi, njen raspored, tok materijala i slično). Pored toga, značajan je i njihov uticaj na odabir i primenu programa unapređenja efikasnosti proizvodnje. Druga karakteristika, visok stepen prilagođavanja karakteristika proizvoda specifičnim zahtevima korisnika, je od posebnog značaja, jer mnogi nerepetitivni proizvodni sistemi svoju konkurentsku prednost grade upravo na ovom osnovu. Pored navedenih, značajno je pomenuti i druge karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema, potencijalno veliki broj kupaca za različitim zahtevima, otežana

segmentacija proizvoda, visoki varijabilni troškovi kod izmene alata, kompleksna kontrola toka materijala, teškoće u standardizaciji operacija i kvaliteta, ograničeni resursi za obuku i unapređenje efikasnosti proizvodnje i slično.

U pogledu ciljeva, postoji značajna podudarnost između nerepetitivnih proizvodnih sistema i Tojotinog proizvodnog sistema. Ukoliko se pogledaju karakteristike Tojotinog proizvodnog sistema (čest način prikazivanja je u formi kuće; videti Liker, 2004), može se videti da su ciljevi proizvesti proizvod koji je visokog kvaliteta, koji se proizvodi uz minimalne troškove, uz najkraće moguće protočno vreme. U tom smislu, može se reći da se ciljevi nerepetitivnih proizvodnih sistema poklapaju sa ciljevima repetitivnih proizvodnih sistema (ili proizvodnih sistema uopšte). Goldratt & Cox (1984) ističu da u svakom proizvodnom sistemu dominiraju tri cilja: maksimizirati protok (u operacionom menadžmentu se najčešće pod protokom podrazumeva količina proizvoda koji se proizvede u jedinici vremena; Goldratt & Cox protok definišu kao prihod koji se ostvaruje prodajom proizvoda), minimizirati troškove zaliha i minimizirati operativne troškove. Važno je prepoznati da lin pristup može značajno da doprinese ostvarenju ciljeva koje navode Goldratt & Cox. Pravovremena proizvodnja obezbeđuje da se proizvodi samo ono što se traži, što podrazumeva da će se ono što je proizvedeno i prodati, dok smanjenje protočnog vremena podrazumeva da će se potrebe kupaca brže zadovoljavati, što implicira i da će protok porasti. Pored toga, uticaj na smanjenje operativnih troškova (pre svega varijabilnih troškova proizvodnje) i uticaj na smanjenje nivoa zaliha (oba pravca delovanja su karakteristična za lin pristup) dovode do ostvarenja konačnog cilja, a to je profit za kompaniju (Goldratt & Cox definišu profit kao razliku protoka i operativnih troškova i troškova zaliha). Međutim, postoje i drugi ciljevi, koji su od posebnog značaja za nerepetitivne proizvodne sisteme. Jedan od osnovnih ciljeva nerepetitivnih proizvodnih sistema je mogućnost da održe visok nivo fleksibilnosti, odnosno sposobnosti da ponude različiti miks proizvoda u svakom trenutku. Važno je imati u vidu način na koji se fleksibilnost postiže u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Tradicionalno, repetitivni proizvodni sistemi u najvećoj meri grade tehnološku i organizacionu fleksibilnost (fleksibilna oprema i/ili efikasna promena alata), dok se nerepetitivni proizvodni sistemi u velikoj meri oslanjaju na fleksibilnost toka materijala i operacija (fleksibilnost faza obrade, odnosno mogućnost različitog redosleda odvijanja operacija) (Levi-Jakšić et al., 1994; Wiendahl et al.,

2015). Međutim, ne postoje razlozi zbog kojih nerepetitivni proizvodni sistemi ne bi mogli da grade i tehnološku i organizacionu fleksibilnost. Pored toga, značajan cilj je i postizanje agilnosti proizvodnog sistema, odnosno mogućnosti da se fleksibilnost postigne brzo.

Problemi nerepetitivnih proizvodnih sistema su vezani za mogućnosti ostvarivanja ciljeva proizvodnje, a proizilaze i iz samih karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema. Osnovni problem je organizovati efikasan način isporučivanja vrednosti koju zahteva korisnik, a da se pri tome zadrže karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema koje im obezbeđuju konkurentsku prednost na tržištu (kao što su fleksibilnost u obimu proizvodnje, varijetetu proizvoda koji se nudi i slično). Kao dominantni problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se prepoznaju dugačko protočno vreme, visok nivo zaliha nedovršene proizvodnje, visok nivo škarta ili dorade, nemogućnost aktivnog upravljanja tražnjom, i slično. Nije redak slučaj da se izvori konkurentske prednosti u nerepetitivnim proizvodnim sistemima prepoznaju kao problemi. Tako se često veliki varijetet proizvoda koji se nude prepoznaje kao problem, umesto kao prednost nerepetitivnog proizvodnog sistema.

5.1.2 Lin principi u kontekstu nerepetitivnih proizvodnih sistema

Drugi element konceptualnog okvira predstavlja analiza principia lin pristupa, odnosno njihovo tumačenje i redefinisane u skladu sa karakteristikama specifičnog proizvodnog okruženja koje je definisano kroz prethodni element okvira.

Womack et al. (1990) smatraju da osnovu lin pristupa predstavlja skup principa koji ne važe samo u Tojoti ili Japanu, već se jednako mogu primeniti svuda. Cilj formulisanja pet lin principa je da se fokus izmesti iz automobilske industrije, i proširi na bilo koju kompaniju. Značajno je reći da Womack & Jones (1996) koriste termin *lin preduzeće* umesto *lin proizvodnja*, naglašavajući sistemski pristup u unapređenju efikasnosti čitave kompanije. Ipak, sistemski pristup je često zanemarivan prilikom analize principa lin pristupa, što je značilo da dominantan fokus i dalje ostaje proizvodnja, konkretnije proizvodnja automobila (ili neka druga proizvodna grana, koja je po karakteristikama slična proizvodnji automobila). Neki menadžeri nisu bili zadovoljni ponuđenim principima lin pristupa, smatrajući (pogrešno!) da su neprimenljivi u njihovoj kompaniji (Bicheno & Holweg, 2009). Međutim, principi lin pristupa su tu da kompaniji daju

viziju gde treba da stigne. Ukoliko se posmatraju na taj način, njihova primenljivost jeste univerzalna. Ipak, neophodno je analizirati principe, i prilagoditi ih konkretnom operacionom kontekstu okruženja u kojem se posmatraju, kao i razviti specifičnosti implementacije u okviru posmatranog okruženja.

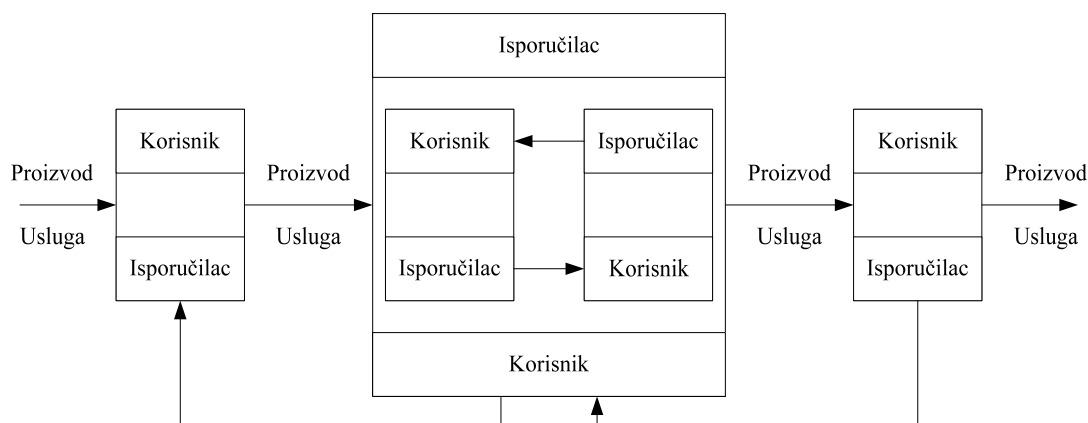
Identifikovanje vrednosti sa aspekta korisnika

Womack & Jones (1996) navode da je identifikovanje i specifikiranje vrednosti kritičan korak u implementaciji lin pristupa. Vrednost definiše sam korisnik, a izražava se u parametrima koji su vezani za određeni proizvod (ili uslugu), a najčešće se tiču kvaliteta proizvoda, cene i vremena isporuke.

Osnovni zadatak je utvrditi šta predstavlja vrednost za korisnika. U repetitivnim proizvodnim sistemima je vrednost koju percipira korisnik najčešće konstantna u određenom dužem vremenskom periodu. Kvalitet svakog proizvoda je standardan, protočna vremena su poznata (problemi u protočnim vremenima se mogu kompenzovati držanjem određenog nivoa zaliha), kao i cena proizvoda. Kod nerepetitivnih proizvodnih sistema se vrednost utvrđuje za svakog korisnika ponaosob, odnosno za svaki novi posao. Kvalitet, protočno vreme i cena su promenljive veličine, i zavise od konkretnih zahteva korisnika koji se pretvaraju u ponudu koju sastavlja proizvođač. Dobra identifikacija vrednosti sa aspekta korisnika predstavlja pripremu za kasnije uspostavljanje neometanog toka isporučivanja te vrednosti. Varijacije u zahtevima korisnika mogu biti velike, što može imati značajan uticaj na kasniju realizaciju proizvodnje, pa je u fazi identifikovanja vrednosti važno uložiti dodatni napor kako bi se istražile mogućnosti aktivnog upravljanja tražnjom. Kod nerepetitivnih proizvodnih sistema je od posebnog značaja dobra saradnja marketinga, prodaje i proizvodnje (Muda & Hendry, 2002a; Spencer & Cox, 1994). Neophodno je raditi na povećanju modularnosti proizvoda, gde je zadatak projektovanja da nove proizvode razvija kroz što je moguće veću upotrebu standardnih modula, dok je zadatak marketinga i prodaje da korisnicima ponudi modifikacija postojećih proizvoda, nove proizvode koji nastaju kombinacijom različitih standardnih modula, ili da diverzifikaciju proizvoda pomeri što je moguće kasnije u internom lancu snabdevanja. Sa aspekta same proizvodnje, značajna je standardizacija rada, kao i standardizacija metoda kontrole, kako bi se sprečilo da do korisnika dođe proizvod nezadovoljavajućeg kvaliteta. Kod upravljanja

tražnjom treba biti oprezan, jer se može dogoditi da se kupcu nudi vrednost na osnovu kompetencija proizvodnog sistema, umesto na osnovu potreba kupca.

Womack & Jones (1996) ističu da vrednost određuje krajnji korisnik. Međutim, usko tumačenje ovog stava može dovesti do zanemarivanja internih korisnika, odnosno obezbeđivanja interne vrednosti, kao i aspekta saradnje dobavljača i proizvođača. Na Slici 16 su prikazani interni i eksterni aspekt modela isporučilac-korisnik.



Slika 16. Interni i eksterni aspekt modela isporučilac-korisnik (Radovic et al., 2009)

Na Slici 16 se vidi da je svaki korak u internom lancu vrednosti u isto vreme isporučilac (obezbeđuje materijal i informacije za naredni korak) i korisnik (koristi materijal i informacije koje dolaze sa prethodnog koraka). Standardizacija rada i standardizacija metoda kontrole sprečavaju da u narednu fazu u proizvodnji prođu delovi ili informacije koji su neadekvatnog kvaliteta, koji mogu dovesti do dorade, ponovne obrade, a posledično i do preopterećivanja kapaciteta. Da bi se obezbedila interna vrednost, neophodno je da u svim koracima internog lanca snabdevanja budu upoznati sa aktivnostima koje se izvode i informacijama koje su potrebne u ostalim koracima. Obezbeđivanje interne vrednosti omogućava obezbeđivanje eksterne vrednosti, odnosno vrednosti za korisnika.

Pored toga, neophodno je posmatrati i ceo proizvodni sistem kao korisnika, i identifikovati vrednost koju on zahteva od njegovih dobavljača. Ovome može doprineti i aktivno upravljanje tražnjom, pošto smanjenje varijacija u tražnji dovodi i do smanjenja varijacija u nabavci, pa se skup dobavljača može ograničiti, a odnosi sa njima se mogu graditi na dugoročnom partnerstvu i kvalitetu isporuke.

Identifikovanje i mapiranje toka stvaranja vrednosti

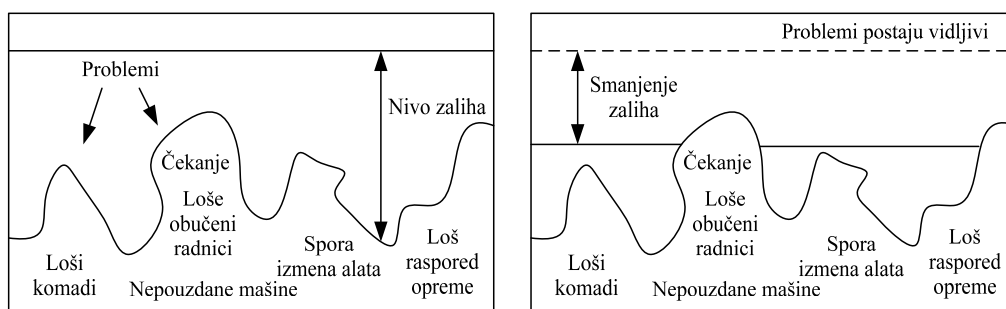
Womack & Jones (1996) definišu tok stvaranja vrednosti kao skup svih specifičnih aktivnosti koje su neophodne kako bi se specifičan proizvod (ili usluga) proveo kroz tri kritična upravljačka zadatka bilo koje kompanije: (i) rešavanje problema – od konceptualnog razvoja, preko detaljnog projekta, pa do lansiranja proizvoda; (ii) upravljanje informacijama – od preuzimanja porudžbine, preko detaljnog raspoređivanja proizvodnje, pa do isporuke proizvoda; i (iii) fizička transformacija – od sirovog materijala do gotovog proizvoda u rukama korisnika. Autori smatraju da je ovaj korak veoma važan, jer se u njemu identifikuje i eliminiše najveći deo rasipanja (*muda*).

Osnovni cilj kod ovog principa je identifikacija načina na koji se stvara vrednost za korisnika. Rezultat treba da bude integrisani prikaz toka materijala i informacija u kojem se stvara vrednost za korisnika. Tok stvaranja vrednosti kod nerepetitivnih proizvodnih sistema je fleksibilniji nego kod repetitivnih proizvodnih sistema, pa i njegovo mapiranje može biti otežano. Ovo posebno važi za nerepetitivne proizvodne sisteme koji su čisto radioničkog tipa, gde redosled operacija može značajno da varira od proizvoda do proizvoda. U takvim situacijama je korisno izvršiti analizu redosleda operacija za različite vrste proizvoda, i utvrditi da li se može identifikovati dominantan tok, koji onda treba analizirati. Ukoliko nije moguće identifikovati dominantan tok, onda se može izraditi mreža tokova, kako bi se utvrdili zajednički resursi, njihova opterećenost, eventualna pojava uskih grla i slično. Identifikovanje i mapiranje toka stvaranja vrednosti se često izjednačava sa upotrebom alata za mapiranje stvaranja vrednosti (eng. *Value Stream Mapping – VSM*), što je pogrešno. Iako se VSM u određenim situacijama može primeniti u nerepetitivnim proizvodnim situacijama, način mapiranja toka stvaranja vrednosti treba da odgovara specifičnim potrebama proizvodnog sistema.

Nerepetitivni proizvodni sistemi imaju izraženu funkcionalnu podelu, što može da oteža analiziranje i praćenje celokupnog procesa stvaranja vrednosti. Zbog toga je važno usvojiti procesni pristup, koji zahteva kros-funkcionalni pogled na čitav proces realizacije proizvoda. Zaposlene treba obučavati da zajednički rade na stvaranju vrednosti za korisnika. Fokus treba da je na predmetu transformacije, a ne na funkcionalnim celinama koje učestvuju u transformaciji. Važno je da zaposleni

razumeju da se optimum čitavog sistema ne može postići optimizacijom njegovih delova (Goldratt & Cox, 1984). U nerepetitivnim proizvodnim sistemima može biti otežano definisanje vlasnika procesa, pošto se redosled i veza između aktivnosti mogu razlikovati od posla do posla, što može otežati kontrolu procesa. Rešenje može biti postavljanje vlasnika posla (ili radnog naloga), koji bi bio zadužen za praćenje jednog posla od momenta preuzimanja porudžbine, do trenutka kada je kupcu isporučen gotov proizvod. U takvoj podeli bi bilo olakšano identifikovanje i razlikovanje aktivnosti koje dodaju vrednost proizvodu od aktivnosti koje ne dodaju vrednost. Eliminacija aktivnosti koje ne dodaju vrednost utiče na smanjenje protočnog vremena u lancu stvaranja vrednosti. Smanjenje protočnog vremena u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je od posebnog značaja, s obzirom da ono u velikom broju slučajeva obuhvata sve faze u internom lancu vrednosti, od prijema porudžbine do isporuke, i može biti dugačko.

Značajan zadatak u ovoj fazi je identifikovanje i eliminisanje očiglednih rasipanja i aktivnosti koje ne dodaju vrednost. Očigledna rasipanja su sva rasipanja za čije postojanje nema racionalnog razloga, i čijim se eliminisanjem neće stvoriti nova rasipanja. Pored toga, treba identifikovati svaki očigledan višak transformisanih resursa (nepotrebne zalihe) i transformišućih resursa (višak kapaciteta). Višak transformisanih resursa je svuda prepoznat kao rasipanje, ali se i višak transformišućih resursa takođe smatra vidom rasipanja (videti, na primer, Hopp & Spearman, 2004; Treville & Antonakis, 2006). Viškovi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima najčešće nisu pod kontrolom, i mogu značajno varirati u zavisnosti od opterećenja radionice. Viškovi često skrivaju probleme, pa njihovo smanjivanje u značajnoj meri može olakšati implementaciju narednih principa, tako što će problemi postati vidljiviji (poznata je analogija vode i stena, koja je prikazana na Slici 17).



Slika 17. Voda i stene kao analogija nivoa zaliha i problema

Za nerepetitivne proizvodne sisteme je karakterističak visok nivo zaliha nedovršene proizvodnje. Smanjivanje nivoa zaliha nedovršene proizvodnje obezbeđuje tešnje povezivanje faza u proizvodnji, što tera kompaniju da se suoči sa problemima, s obzirom da ne postoje zalihe koje će kompenzovati njihov štetan uticaj. U ovoj fazi je neophodno eliminisati samo očigledan višak transformisanih i transformišućih resursa, do nivoa koji neće destabilizovati normalno odvijanje proizvodnje.

Obezbeđivanje nesmetanog toka stvaranja vrednosti

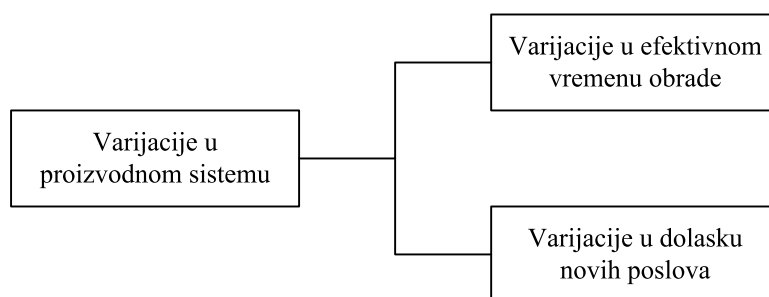
Nakon što je identifikovan tok stvaranja vrednosti, i nakon što su iz njega eliminisana sva očigledna rasipanja, zadatak je da se preostale aktivnosti koje dodaju vrednost organizuju u nesmetani tok (Womack & Jones, 1996).

Osnovni cilj kod ovog principa je da se tok stvaranja vrednosti učini brzim i uravnoteženim. Što je tok materijala brži i uravnoteženiji, to je proces produktivniji (Schmenner & Swink, 1998). Nerepetitivni proizvodni sistemi često žrtvuju brzinu toka radi postizanja fleksibilnosti (varijeteta u miksu proizvoda i obimima proizvodnje).

Jedna od najznačajnijih prepreka uspostavljanju brzog i uravnoteženog toka su varijacije (Schmenner & Swink, 1998; Hopp & Spearman, 2008). Varijacije su inherentne za nerepetitivne proizvodne sisteme, i mogu biti dobre i loše. Na primer, varijacije u miksu proizvoda su dobre varijacije, i predstavljaju izvor konkurentske prednosti nerepetitivnih proizvodnih sistema. Sa druge strane, postoje i loše varijacije, koje su takođe česte u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, kao što su planirani (izmena alata) i neplanirani (kvar mašine) prekidi, problemi sa kvalitetom, varijacije u radnoj snazi (razlike u veštinama među zaposlenima), varijacije u dizajnu (loša ili neadekvatna inženjerska rešenja) i slično. Karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema je da na varijacije pasivno reaguju, smatrajući ih za datost, umesto da njima aktivno upravljaju i na taj način oblikuju proizvodno okruženje, kao što to rade repetitivni proizvodni sistemi. Neke varijacije, najčešće one čiji su izvori u okvirima samog proizvodnog sistema, treba smanjivati, dok nekima, koje najčešće dolaze spolja, treba upravljati kako bi se njihov negativni efekat na sistem smanjio. Varijacije predstavljaju neuniformnost nekog entiteta. Varijacije su najčešće simptom, odnosno posledica uticaja drugih faktora. Ashton & Cook (1989) smatraju da je efikasnost nerepetitivnim proizvodnih

sistema moguće unaprediti aktivnim upravljanjem varijacijama, kroz prihvatanje principa koji su karakteristični za repetitivne proizvodne sisteme – pre svega lin principa i principa upravljanja ukupnim kvalitetom. Problemi u kvalitetu, visokom nivou škarta, dugačkim protočnim vremenima, nepouzdana isporuka i visoki troškovi su prepoznati kao posledica načina na koji se poslovi raspoređuju i izvršavaju, a ne kao nešto što je inherentno nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Ono što je karakteristično za lin pristup je da se prepoznaje da su varijacije najčešće posledica uticaja drugih faktora (na primer, varijacije u vremenu obrade mogu biti posledica faktora kao što su karakteristike mašina, operateri koji upravljaju mašinama, nehomogenosi u materijalu i slično), i da propagira aktivan pristup smanjenju varijacija. Suština je u prepoznavanju uzroka varijacija, i eliminisanju tih uzroka. Na varijacije treba uticati proaktivno, kroz implementaciju lin pristupa i pravovremene proizvodnje, što se ogleda pre svega kroz uspostavljanje jednostavnog, prirodnog i vidljivog toka stvaranja vrednosti, koji omogućava da se radnicima signalizira pojava varijacija, čije uzroke oni zatim eliminišu. Varijacije predstavljaju ono što se u Tojotinom proizvodnom sistemu naziva *mura*.

Varijacije se grubo mogu podeliti u dve grupe: (i) varijacije u efektivnom vremenu obrade; i (ii) varijacije u dolasku novih poslova. Grafički prikaz grupa varijacija je dat na Slici 18.



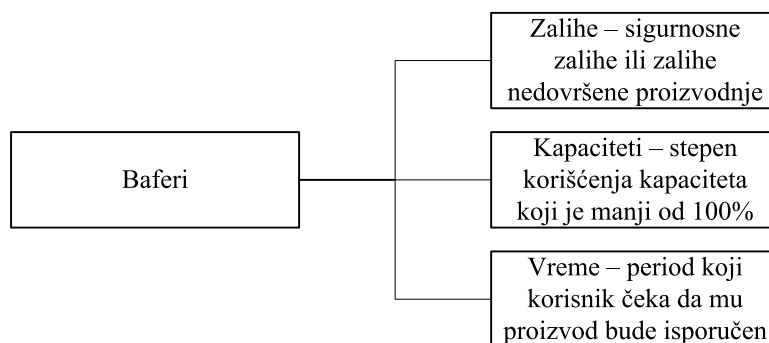
Slika 18. Grupe varijacija u proizvodnom sistemu

Efektivno vreme obrade predstavlja zbir osnovnog vremena obrade jednog posla i drugih elemenata koji smanjuju raspoloživo radno vreme i produktivnost, dok zauzimaju kapacitete, kao što su vreme izmene alata, dorada, nepredviđeni prekidi u radu (nedostatak materijala, alata, odsustvo radnika) i slično (Hopp & Spearman, 2008; Jovanovic et al., 2014). Varijacije se javljaju u četiri elementa proizvodnje (takozvana

4M): ljudi (*men*), mašine (*machine*), metod (*method*) i materijal (*material*). Varijacije mogu biti prirodne, koje uključuju manje fluktuacije usled razlika u mašinama, operaterima, materijalu i slično. Varijacije u efektivnom vremenu obrade su posledica varijacija u svakoj od njegovih komponenata. Varijacije u dolasku novih poslova predstavljaju varijacija u tražnji, kao i varijacije u kretanju poslova između radnih centara. Neke od pomenutih varijacija se mogu smanjiti, a neke ne. Varijacijama koje se ne mogu smanjiti treba upravljati kako bi se kompenzovao njihov uticaj. Na primer, varijacije u dolasku poslova su eksternog karaktera, i mogućnosti aktivnog upravljanja tražnjom su ograničene u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Uticaj ovih varijacija se može kontrolisati, tako što će se tražnja odvojiti od proizvodnje na sličan način na koji to radi *heijunka* (detaljan mehanizam će biti objašnjen u narednim koracima). Sa druge strane, varijacije u kretanju poslova između radnih centara su najčešće posledica aktivnosti unutar samog proizvodnog sistema (neadekvatan raspored opreme, neadekvatan unutrašnji transport i slično), i njih treba aktivno smanjivati. Veličina posla (količina koju treba proizvesti) je takođe van kontrole proizvodnog sistema, ali se varijacije u obimu mogu kompenzovati efikasnom izmenom alata, koja će dozvoliti da se veliki poslovi podele na nekoliko malih. Sa druge strane, varijacije u izmeni alata i podešavanju opreme se mogu smanjiti tako što će se aktivnosti na izmeni alata izučiti, unaprediti i standardizovati.

Varijacije u sistemu je moguće smanjiti i kroz smanjivanje kompleksnosti sistema. Kompleksnost se ogleda kroz broj entiteta procesa (ljudi, mašine, alati, koraci procesa, informacije i slično) i njihovi interakcija. Velika kompleksnost sistema znači i veliku mogućnost pojava varijacija u procesu. Ukoliko entiteti procesa predstavljaju rasipanja (*muda*), onda je i njegova kompleksnost nepotrebna i neracionalna. Eliminisanje rasipanja utiče na smanjenje kompleksnosti sistema, eliminišući entitete procesa koji su nepotrebni, pri čemu se ne smanjuje funkcionalnost procesa.

Bez obzira da li se radi o varijacijama izazvanim internim ili eksternim uzrocima, one se mogu kompenzovati pomoću tri bafera. Grafički prikaz bafera je dat na Slici 19.



Slika 19. Baferi u proizvodnim sistemima

Baferi kompenzuju varijacije, ali mogu biti i posledica varijacija. Na primer, nivo zaliha nedovršene proizvodnje direktno zavisi od varijacija u efektivnom vremenu obrade i varijacija u dolasku novih poslova (Hopp & Spearman, 2008). Prekomerni baferi se smatraju vrstom rasipanja. Ukoliko postoje varijacije, nije moguće uticati na jednu vrstu bafera bez posledica na drugu vrstu bafera. Zbog toga je upravljanje baferima u nerepetitivnim proizvodnim sistemima veoma značajno, a cilj je naći optimalnu poziciju i veličinu bafera.

Zalihe gotovih proizvoda u nerepetitivnoj proizvodnji retko postoje. Sa druge strane, zalihe nedovršene proizvodnje u nerepetitivnoj proizvodnji, koje mogu biti vrlo velike, predstavljaju jednu od osnovnih prepreka brzom toku materijala. Držanje visokog nivoa zaliha nedovršene proizvodnje se opravdava kompenzovanjem varijacija u samom procesu. Visok nivo zaliha nedovršene proizvodnje odvaja jednu fazu lanca stvaranja vrednosti od druge (na taj način radni centri mogu da kompenzuju varijacije koje se javljaju u drugim radnim centrima), što ostavlja mogućnost izbora kako će se rad organizovati na pojedinim radnim centrima, odnosno omogućava postizanje lokalnih optimuma. Sa druge strane, to povećava redove čekanja ispred radnih centara, što povećava stepen korišćenja kapaciteta, ali i zagušenost sistema, što otežava kontrolu i prikupljanje informacija, i zahteva više napora za koordinaciju. Kao posledica se javljaju duga i nepredvidiva protočna vremena.

Visok stepen korišćenja kapaciteta se može grubo izjednačiti sa preopterećenjem, odnosno sa *muri*. Neophodno je koliko god je moguće smanjiti stepen korišćenja kapacitet, a povećati raspoloživost kapaciteta. Ukoliko je stepen korišćenja kapaciteta visok, veći je uticaj varijacija na destabilizaciju sistema. Kako bi se oslobodili

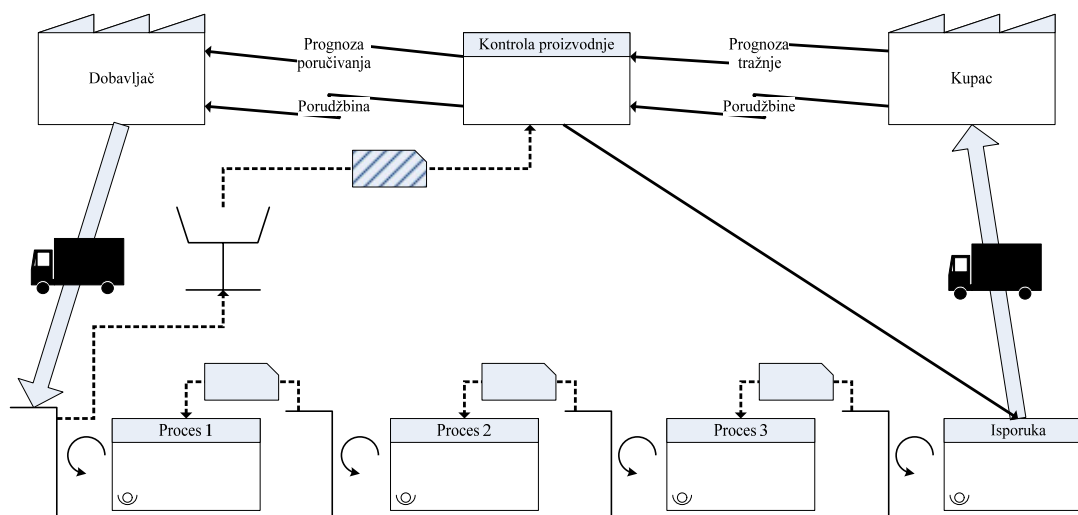
kapaciteti, neophodno je smanjiti ili eliminisati sve elemente efektivnog vremena obrade koji zauzimaju kapacitete a ne stvaraju novu vrednost (vreme izmene alata, neplanirane prekide, rasipanja i slično). Ovde značajnu ulogu igra kvalitet proizvoda. Važno je izbeći neuspelu tražnju (*eng. failure demand*), koja predstavlja eksterno generisanu ponovnu tražnju zato što nešto nije urađeno, ili nije urađeno na pravi način, prvi put, kao i tražnju za doradom (ili ponovnom izradom), koja predstavlja interno generisanu ponovnu tražnju zato što nešto nije urađeno na pravi način. Eliminisanje neuspele tražnje i tražnje za doradom oslobađa kapacitete, što utiče na smanjenje redova čekanja, a posledično i protočnog vremena. Korišćenje kapaciteta se može smanjiti kratkoročnim podešavanjem kapaciteta, kroz prekovremeni rad, fleksibilnu radnu snagu, uvođenje dodatnih smena i slično. Izvodljivu opciju za nerepetitivne proizvodne sisteme može predstavljati i podugovaranje dela posla, kako bi se kapaciteti oslobodili.

Postojanje varijacija zahteva i postojanje bafera, ali se ovaj efekat donekle može umanjiti uspostavljanjem fleksibilnih bafera. Na primer, fleksibilna radna snaga predstavlja fleksibilni bafer kapaciteta. Fleksibilna radna snaga može da pokrije istu količinu rada sa manjim ukupnim kapacitetom nego što bi bilo potrebno da je radna snaga vezana za specifične zadatke.

Smanjenje varijacija i upravljanje baferima imaju značajan uticaj na kontrolu toka materijala u proizvodnji, pošto obezbeđuju lakšu vidljivost poslova u proizvodnji, i smanjenje (ili čak eliminisanje) potreba za dispečiranjem. Posledično se omogućava i uspostavljanje FIFO toka.

Vučenje proizvodnje

Vučenje proizvodnje predstavlja sistem kontrole toka materijala u kojem kupac povlači određenu količinu sa kraja procesa proizvodnje, što pokreće proizvodnju u prethodnim koracima (ka početku procesa proizvodnje) kako bi se popunila količina proizvoda koja je povučena (Womack & Jones, 1996). Osnovni zadatak vučenja proizvodnje je da sinhronizuje transformisane resurse (materijal) i transformišuće resurse (kapacitete) sa zahtevima za resursima, odnosno tražnjom. Tipičan primer sistema vučenja koji se koristi u repetitivnoj proizvodnji je prikazan na Slici 20.

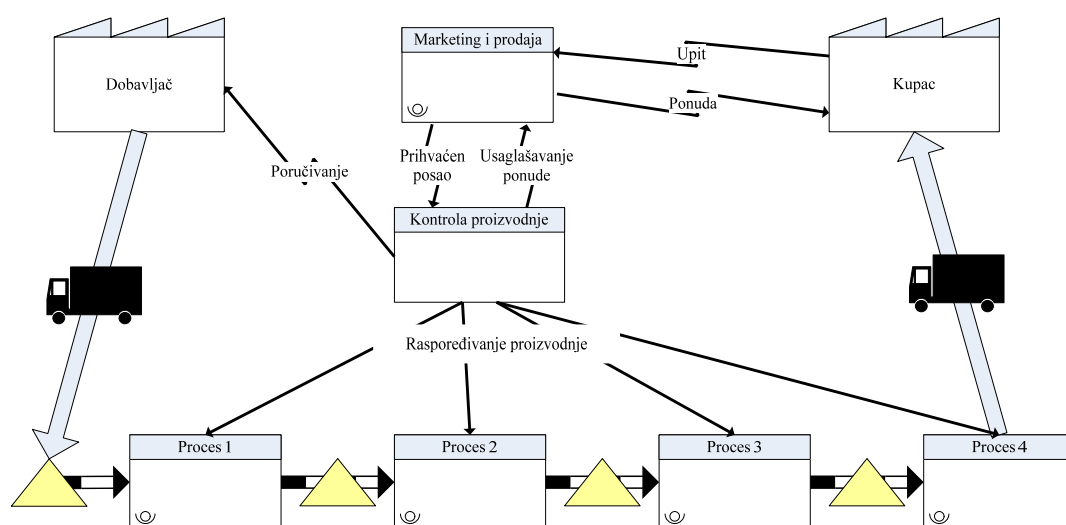


Slika 20. Sistem vučenja pomoću Kanban kartica

Ovo znači da se proizvodi proizvode samo onda kada postoji direktna tražnja od strane kupca. Posmatrano na ovaj način, može se zaključiti da nerepetitivni proizvodni sistemi uvek proizvode po sistemu vučenja, s obzirom da najčešće koriste proizvodnu strategiju proizvodnje po porudžbini. Međutim, pošto nije moguće držati zalihe gotovih proizvoda na kraju procesa iz kojih bi se povukla određena količina, zahtev za proizvodnjom dolazi na početak procesa, odakle se proizvodnja gura ka kraju procesa. Ovakav način poslovanja onemogućava vučenje proizvodnje na način na koji je to organizovano u repetitivnim proizvodnim sistemima. Samo zato što je isporučena određena količina proizvoda ne znači da će se krenuti sa proizvodnjom iste količine proizvoda koji je isporučen.

Sistem vučenja predstavlja kratkoročni odgovor na tražnju korisnika, i jedan od ciljeva je da se spreči prekomerna proizvodnja, kao i nagomilavanje zaliha nedovršene proizvodnje (Ohno, 1988; Bicheno, 2004; Hopp & Spearman, 2008). Hopp & Spearman (2004) smatraju da je sistem vučenja svaki onaj koji ograničava nivo zaliha nedovršene proizvodnje, dok je sistem guranja svaki onaj koji to ne čini. Ovakva definicija bi mogla biti razumljivija menadžerima u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, s obzirom da ističe jasan cilj uspostavljanja sistema vučenja proizvodnje, a to je kontrola proizvodnje na osnovu povratnih informacija iz same proizvodnje.

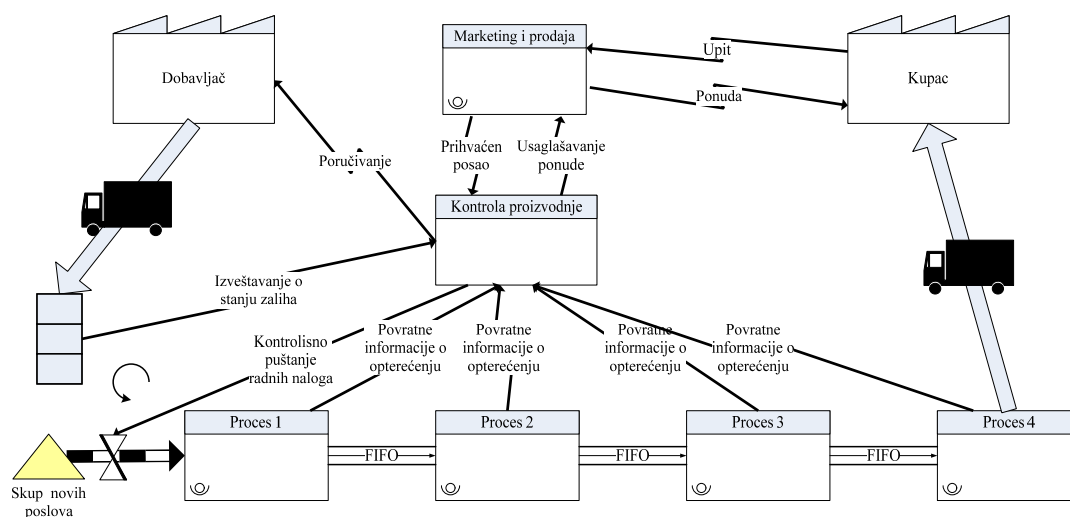
Tipičan sistem kontrole proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se može okarakterisati kao sistem guranja, i prikazan je na Slici 21. Kupac šalje upit marketingu i prodaji, koji na osnovu konsultacija sa proizvodnjom šalju ponudu. Čim je ponuda prihvaćena, novi posao se „gura“ u proizvodnju, gde kontrola proizvodnje odmah šalje radne naloge svim radnim centrima koji učestvuju u izradi posla. Radni centri su delimično autonomni u organizaciji svoga rada, u smislu izbora narednog posla na kojem će da rade u zavisnosti od efikasnosti izmene alata, materijala koji se koristi i drugih faktora. To dovodi do gubitka prirodnog toka radnog naloga, nagomilavanja posla, zagušenja procesa proizvodnje i otežane koordinacije.



Slika 21. Sistem guranja proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Kanban, kao način uspostavljanja sistema vučenja u repetitivnim proizvodnim sistemima, funkcioniše tako što informacije idu unazad (od kraja procesa ka početku) dok se materijal kreće unapred na osnovu dobijenih informacija. U tom smislu, u nerepetitivnim proizvodnim sistemima bi alternativa sistemu vučenja proizvodnje mogao biti sistem kontrolisanog guranja, gde bi se novi poslovi „gurali“ u proizvodnju na osnovu povratnih informacija iz proizvodnje o slobodnim kapacitetima, kao što je prikazano na Slici 22. Kada se jednom posao gurne u proizvodnju, kroz FIFO linije bi se kontrolisano kretao ka kraju procesa. Preduslov za uspostavljanje FIFO sistema kretanja materijala su kratki redovi čekanja ispred mašina. U repetitivnim proizvodnim sistemima, Kanban signal se generiše promenom stanja zaliha, odnosno povlačenjem određene količine proizvoda sa zaliha gotovih proizvoda. Taj signal „vuče“

proizvodnju, sa ciljem da se povučena količina nadoknadi. U nerepetitivnim proizvodnim sistemima je važno odvojiti tražnju od proizvodnje, tako što će se uvesti skup (*eng. pool*) poslova, odnosno radnih naloga. Novi radni nalozi se ne puštaju u proizvodnju istog momenta kada su spremni, već se zadržavaju u skupu, i puštaju u proizvodnju na osnovu povratnih informacija o opterećenju proizvodnje ili o slobodnim kapacitetima. Princip funkcionisanja je zasnovan na kontroli ulaza/izlaza, gde se odluka o puštanju novog ulaza u proizvodnju donosi na osnovu kapaciteta koji je oslobođen kroz izlaz iz proizvodnje. Novi radni nalog se „gura“ na radni centar na kojem se obavlja prva faza obrade na osnovu informacija o oslobođenim kapacitetima. Radni nalog je u formi „putnika“ (*eng. traveler*), i kreće se od jednog radnog centra do drugog zajedno sa materijalom. Materijal se između radnih centara kreću po FIFO liniji koja je ograničenog kapaciteta, kako bi se sprečilo zagušenje proizvodnje. Kapaciteti FIFO linije su ograničeni maksimalnim opterećenjem, i novi radni nalozi se puštaju samo ukoliko maksimalno opterećenje svih FIFO linija na putanji posmatranog naloga nije prekoračeno. Kada se operacija završi na nekom radnom centru, podaci o oslobođenim kapacitetima se šalju u kontrolu proizvodnje, gde se koriste za odlučivanje o puštanju novih radnih naloga u proizvodnju.



Slika 22. Sistem vučenja proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

U nerepetitivnim proizvodnim sistemima bi signal mogao biti vezan za raspoložive kapacitete, gde informacija o oslobađanju određene količine kapaciteta „vuče“ novi posao u proizvodnju. Signal bi mogao biti i nivo zaliha nedovršene proizvodnje u

sistemu, gde bi se novi poslovi „vukli“ u proizvodnju kada bi nivo zaliha nedovršene proizvodnje pao ispod nekog unapred definisanog nivoa. Osim vučenja proizvodnje, na ovaj način bi se obezbedilo i uravnoteženje opterećenja u odnosu na maksimalni dozvoljeni nivo opterećenja, na sličan način na koji se vrši uravnoteženje opterećenja u odnosu na takt u repetitivnim proizvodnim sistemima pomoću dijagrama opterećenja operatera (eng. *operator balance chart* ili *operator loading diagram*; jap. *Yamazumi board*). Osnovna karakteristika sistema vučenja u nerepetitivnim proizvodnim sistemima bi, u tom slučaju, bila obezbeđivanje toka informacija kroz proizvodnju, u cilju obezbeđivanja pravovremenih informacijama o slobodnim kapacitetima, ili o stanju zaliha nedovršene proizvodnje.

Pored kontrole ulaza, kroz kontrolisano guranje ili vučenje naloga kroz proizvodnju, sistem guranja proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima igra značajnu ulogu i u kontroli izlaza. Sistem vučenja treba da obezbedi pravovremen informacije o situacijama kada nije moguće uskladiti transformišuće resurse i tražnju za njima, odnosno kada opterećenost resursa ne dopušta puštanje novih radnih naloga u proizvodnju, iako postoji tražnja. U tom slučaju se generiše signal da je potrebno povećati izlaz iz proizvodnje, odnosno bafer kapaciteta, kako bi se brže smanjilo opterećenje resursa. Ovo se može postići kratkoročnim podešavanjima kapaciteta, kao što su prekovremeni rad ili dodatne smene.

Težnja ka savršenstvu

Womack & Jones (1996) navode da interakcija između prethodna četiri koraka već predstavlja korak bliže ka savršenstvu. Težnja ka savršenstvu predstavlja kontinuirani napor da se sistem učini boljim nego što trenutno jeste. Savršenstvo predstavlja ideal koji nikada neće biti dostignut, ali težnja ka savršenstvu predstavlja samu suštinu lin pristupa, a to je uspostavljanje beskonačnog ciklusa unapređivanja.

Rešenja do kojih se dođe u prethodna četiri koraka postaju novi standard, koji predstavlja osnovu za novi krug unapređivanja. Bicheno (2004) upozorava na opasnosti benčmarkinga u težnji ka savršenstvu. Cilj nije raditi ono što konkurenti rade, ili primeniti najbolju praksu. Cilj je upoređivati se sa samim sobom, odnosno težiti ka proizvodnom sistemu sa nula rasipanja. Womack & Jones (1996) ističu da je najveća

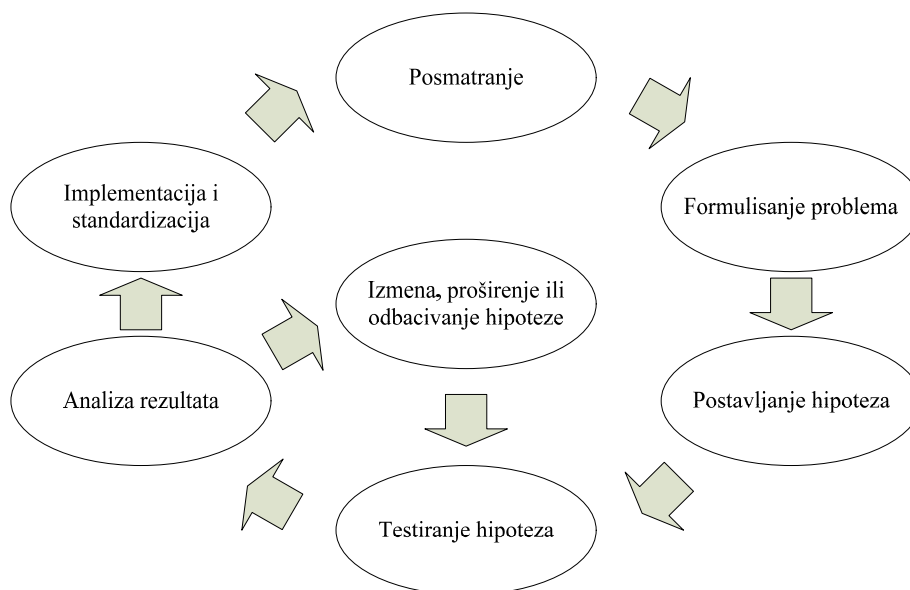
korist od težnje ka savršenstvu uvećana transparentnost sistema, činjenica da sve postaje lako vidljivo, što omogućava otkrivanje boljih načina za stvaranje vrednosti. U tom smislu, težnja ka savršenstvu u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se ni na koji način ne razlikuje od težnje ka savršenstvu u repetitivnim proizvodnim sistemima.

5.1.3 Aktivno oblikovanje proizvodnog okruženja

Jedna od osnovnih karakteristika lin pristupa je stav da se proizvodno okruženje ne treba posmatrati kao datost, već kao parametar koji se može aktivno kontrolisati i oblikovati (Melnik et al., 1992; Hopp & Spearman, 2008). Nerepetitivni proizvodni sistemi posmatraju proizvodno okruženje na način koji je sličan proizvodnim sistemima za masovnu proizvodnju, gde se okruženje smatra datim i nepromenljivim, i gde je cilj proizvodnog sistema da se na najbolji način prilagodi okruženju. Turbulentnost proizvodnog okruženja nerepetitivnih proizvodnih sistema se često koristi kao izgovor za probleme ili pasivan pristup unapređenjima. Ipak, prostor za aktivno oblikovanje proizvodnog okruženja kod nerepetitivnih proizvodnih sistema nije zanemarljiv.

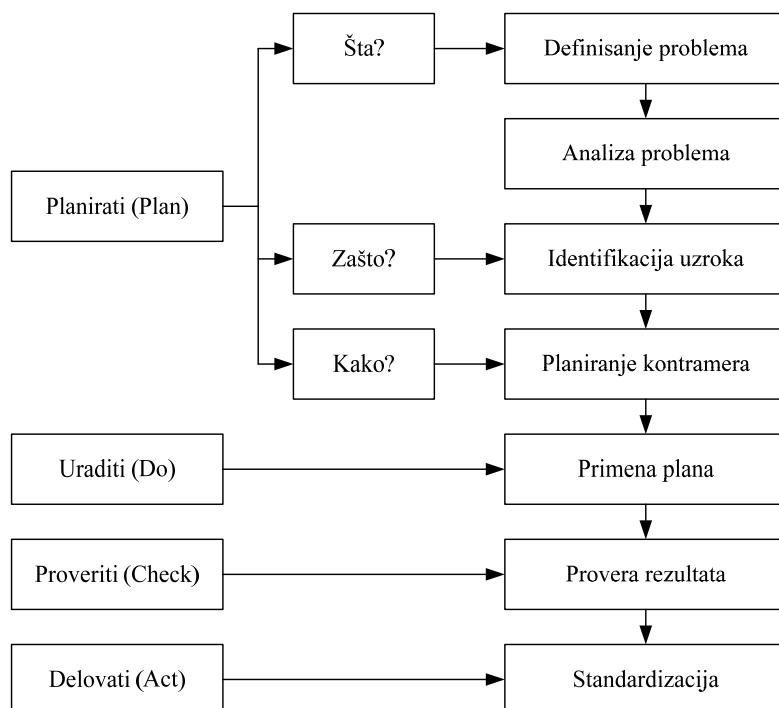
Spear & Bowen (1999) smatraju da je ključ Tojotinog uspeha u tome što se aktivnosti i procesi konstantno preispituju i poboljšavaju, što omogućava kompaniji da se stalno inovira i unapređuje. Toyota koristi rigorozni proces za rešavanje problema koji zahteva detaljnu procenu trenutnog stanja, plan za poboljšavanje, i na kraju eksperimentalnu proveru predloženih promena (Spear & Bowen, 1999). Ono što Tojotu ističe u odnosu na druge kompanije je sistem koji motiviše da se u rešavanje problema uključe svi zaposleni, od menadžera pa do izvršilaca.

Spear & Bowen (1999) navode da se sva poboljšanja moraju sprovesti u skladu sa naučnim metodom, pod vođstvom učitelja, na najnižem mogućem nivou u organizaciji. Naučni metod predstavlja sredstvo kojim se iz procesa eliminišu aktivnosti koje ne dodaju vrednost, i kojim se omogućava da se aktivnosti koje dodaju vrednost izvršavaju brže i uz manje napora (Schmenner & Swink, 1998). U tom smislu, nerepetitivni proizvodni sistemi mogu dosta da nauče od Tojote. Naime, zaposleni u Tojoti se eksplicitno uče da rešavaju probleme, bez obzira na njihovo pređašnje iskustvo. Svaki zaposleni treba da bude obučen u primeni naučnog metoda za rešavanje problema. Grafički prikaz postupka rešavanja problema prema naučnom metodu je dat na Slici 23.



Slika 23. Naučni metod rešavanja problema

Problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se mogu rešavati korišćenjem procesa unapređenja koji je karakterističan za Kaizen pristup, a koji je poznat i kao PDCA (Planirati – Uraditi – Proveriti – Delovati; eng *Plan – Do – Check – Act*) ciklus, a koji korene ima u upravljanju ukupnim kvalitetom (poznat je i kao Demingov ciklus, ili Juranov ciklus; videti Imai, 1997). Karakteristika PDCA ciklusa je neprekidnost: polazi se od postojećeg stanja, i čim se ono unapredi, to unapređenje postaje postojeće stanje, koje zatim postaje predmet novih unapređenja. PDCA proces sadrži proceduru za rešavanje problema koja je akciono usmerena, i koju koriste zaposleni za rešavanje problema (Slović et al, 2015). Struktura PDCA ciklusa je prikazana na Slici 24. Planirati se odnosi na utvrđivanje objekta unapređenja, i izradu akcionog plana kako bi se ostvarili ciljevi unapređenja. Planiranje je podeljeno na tri faze: (i) u prvoj se utvrđuje šta je problem, i vrši se njegova detaljna analiza; (ii) u drugoj se identifikuje uzrok problema (korišćenje metode „5 Zašto“ u cilju otkrivanja uzroka problema); (iii) u trećoj se planiraju kontramere. Uraditi se odnosi na realizaciju definisanog akcionog plana. Proveriti se odnosi na proveru da li su ostvareni postavljani ciljevi i da li se primenjeno rešenje koristi. Delovati se odnosi na standardizaciju i uvođenje procedura kojima se sprečava ponovno pojavljivanje istog problema ili na postavljanje ciljeva za nova unapređenja.



Slika 24. PDCA ciklus (Imai, 1997)

Ukoliko se uporede PDCA ciklus i naučni metod rešavanja problema, može se primetiti značajno podudaranje. PDCA ciklus, zapravo, predstavlja naučni metod prilagođen rešavanju problema u proizvodnji.

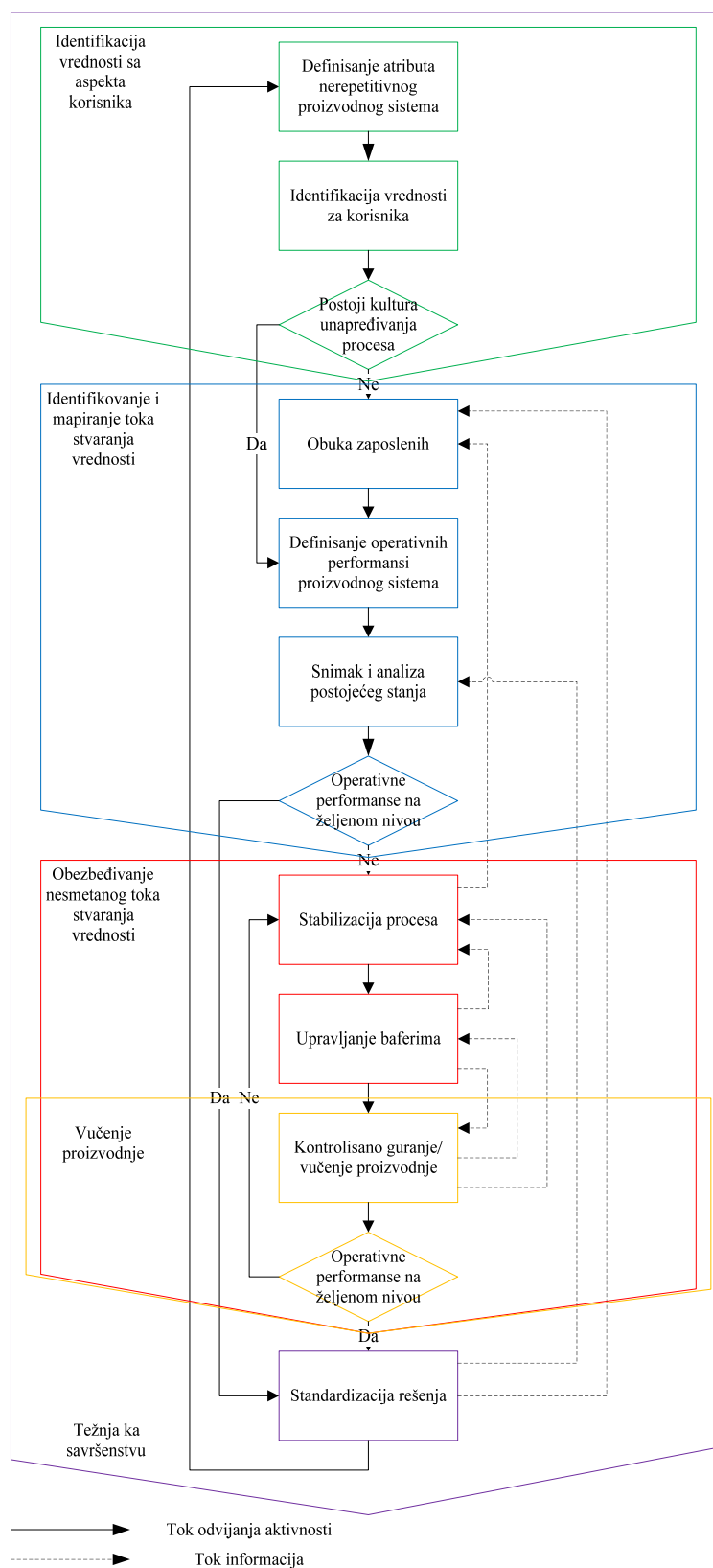
U Tojoti smatraju da alati koji su razvijeni (kao na primer Kanban, andon i slično) ne predstavljaju fundamentalni deo Tojotinog proizvodnog sistema (Spear & Bowen, 1999). Iako je razvijen veliki broj alata, oni se posmatraju kao kontramere koje su preduzete u cilju rešavanja konkretnih problema. Primena određenih alata, ili odsustvo primene, ne znače i primenu lin pristupa. Primena određenih alata implicira da se pokušavaju rešiti problemi koji su već poznati, odnosno koji su slični problemima za čije rešavanje su određeni alati razvijeni. Primena alata za rešavanje problema koji su značajno različiti od onih za čije potrebe su alati i razvijeni, kao što je to slučaj sa nerepetitivnim proizvodnim sistemima, može dovesti do pojačavanja problema (Hopp & Spearman, 2008). Zbog toga je za nerepetitivne proizvodne sisteme značajno da sami razvijaju kontramere za probleme koji su identifikovani. Neki od postojećih alata lin pristupa su jednako primenljivi u repetitivnim i u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, za neke je potrebna modifikacija, dok je za specifične probleme neophodno razviti posebne metode i alate, koji će biti u skladu sa principima lin pristupa.

5.2 Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

Model implementacije lin pristupa definiše način na koji lin pristup treba implementirati, odnosno redosled koraka koje treba preduzeti u cilju implementacije lin pristupa (Anand & Kodali, 2010). Konceptualni modeli su dominantni u naučnoj i stručnoj literaturi, i njihov broj je veliki, dok su modeli implementacije manje zastupljeni. Ovo posebno važi za nerepetitivne proizvodne sisteme, gde je broj modela implementacije lin pristupa vrlo ograničen.

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema je predstavljen na Slici 25. Model predstavlja sistematičan pristup implementacije koji je zasnovan na lin principima. Model predstavlja strukturiran i merljiv skup aktivnosti, čiji je cilj unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Postupak je strukturiran, jer se zna od kojih se aktivnosti sastoji i po kom redosledu se izvršavaju, ko su učesnici, šta je predmet, koja sredstva se koriste i u okviru kojih uslova se primenjuje. Merljiv je jer se mogu odrediti trajanje i troškovi svih aktivnosti i celog postupka, kao i efekti ostvareni njegovom primenom. Detaljan opis svake od aktivnosti će biti dat u daljem tekstu.

**Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema**



Slika 25. Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema

Definisanje atributa nerepetitivnog proizvodnog sistema

Prvi korak predstavlja definisanje operacionog konteksta konkretnog nerepetitivnog proizvodnog sistema. U ovom koraku se, pre svega, identifikuju karakteristike proizvodnog sistema, odnosno atributi na osnovu kojih posmatrani proizvodni sistem gradi svoju konkurentsku poziciju na tržištu. Faze koje je neophodno sprovesti u ovom koraku, kao i očekivani rezultati, su dati u Tabeli 23.

Tabela 23. Faze i rezultati koraka Definisanje atributa nerepetitivnog proizvodnog sistema

Korak modela	Faze u okviru koraka	Očekivani rezultati koraka
Definisanje atributa nerepetitivnog proizvodnog sistema	Razumevanje načina na koji nerepetitivni proizvodni sistem nastupa na tržištu	Skup atributa koji karakterišu nerepetitivni proizvodni sistem
	Razumevanje resursa nerepetitivnog proizvodnog sistema	

Ovaj korak zahteva da se dobro razumeju opipljivi i neopipljivi resursi sistema, kao i procesi stvaranja vrednosti. Ovo je proaktivan način posmatranja operacija (fokus na resurse), gde se identifikuju sposobnosti proizvodnog sistema, i načini na koji se te sposobnosti mogu pretvoriti u povoljnu poziciju na tržištu. Rezultat ovog koraka je skup atributa koji su karakteristični za konkretan proizvodni sistem, a koji obuhvata atribute kao što su varijetet proizvoda koji se nudi, vrsta proizvodnog procesa, tip proizvodne opreme, način organizovanja proizvodnje i slično.

Identifikacija vrednosti za korisnika

U ovom koraku se vrši identifikacija vrednosti sa aspekta korisnika, koju proizvodni sistem treba da isporuči. Faze koje je neophodno sprovesti u ovom koraku, kao i očekivani rezultati, su dati u Tabeli 24.

Tabela 24. Faze i rezultati koraka Identifikacija vrednosti za korisnika

Korak modela	Faze u okviru koraka	Očekivani rezultati koraka
Identifikacija vrednosti za korisnika	Identifikacija zahteva korisnika	Dinamički skup dimenzija vrednosti koje zahteva korisnik (kvalitet, cena, vreme isporuke) i predlog strategije aktivnog upravljanja tražnjom
	Analiza mogućnosti aktivnog upravljanja tražnjom	
	Identifikovanje vrednosti sa internog aspekta	

Polazi se od analize tržišta, odnosno zahteva korisnika, pozicije kompanije na tržištu i ponašanja konkurenata. Detaljnom analizom i razumevanjem tržišta se dolazi do skupa zahteva koje treba zadovoljiti kako bi se korisniku isporučila vrednost koju zahteva. U nerepetitivnim proizvodnim sistemima skup zahteva predstavlja dinamičku kategoriju, s obzirom da je promenljiv, i da za svaki novi posao predstavlja specifičnu kombinaciju parametara kvaliteta, cene i rokova isporuke.

Promenljivost kategorija vrednosti predstavlja značajan izvor varijacija, koje mogu kasnije uticati na efikasnost proizvodnje, pa u ovoj fazi treba analizirati mogućnosti aktivnog upravljanja tražnjom. Aktivno upravljanje tražnjom uključuje aktivnosti kao što su kasna diverzifikacija proizvoda, modifikacija postojećih proizvoda, modularizacija proizvodnog programa i slično. U ovoj fazi treba biti obazriv, kako bi se izbegla situacija u kojoj se korisniku nudi vrednost koja je proistekla iz kompetencija kompanije umesto iz potreba korisnika.

U ovom koraku je neophodno precizno utvrditi zahteve korisnika, kako bi se već u fazi prijema nove porudžbine minimizirale mogućnosti za pojavu određenih rasipanja. Na primer, može se dogoditi da kompanija, sa željom da osigura dobijanje posla, ponudi proizvod čije su karakteristike iznad onih koje je specificirao korisnik, što se može izjednačiti sa prekomernom obradom. Neophodno je identifikovati i vrednost sa internog aspekta, u smislu kvaliteta i pravovremenosti dostavljanja dokumentacije, materijala, poluproizvoda i komponenti u pojedine faze internog lanca vrednosti. Takođe, neophodno je definisati i ulaznu vrednost, odnosno parametre u vezi sa materijalom koji se nabavlja, a koje isporučilac treba da zadovolji (takođe u pogledu kvaliteta, cene i vremena isporuke).

Obuka zaposlenih

Obuka predstavlja sledeći, veoma značajan korak u implementaciji lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Pregled faza koje je neophodno sprovesti u ovom koraku, kao i očekivani rezultati, su dati u Tabeli 25. Obuka zaposlenih ima tri primarna cilja:

- Da obezbedi razumevanje operativnog konteksta u kojem posluje kompanija;

***Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema***

- Da obezbedi razumevanje principa lin pristupa, i njihovog značaja za nerepetitivne proizvodne sisteme; i
- Da pripremi zaposlene da samostalno rešavaju probleme sa kojima se susreću primenom naučnog metoda i PDCA ciklusa, a u skladu sa principima lin pristupa.

Tabela 25. Faze i rezultati koraka Obuka zaposlenih

Korak modela	Faze u okviru koraka	Očekivani rezultati koraka
Obuka zaposlenih	Predstavljanje načina stvaranja vrednosti za korisnika među zaposlenima	Skup znanja koja će zaposlenima omogućiti da aktivno učestvuju u rešavanju problema primenom naučnog metoda, a u skladu sa principima lin pristupa i u kontekstu poslovanja nerepetitivnih proizvodnih sistema
	Predstavljanje principa lin pristupa	
	Prezentiranje procesnog pristupa	
	Predstavljanje naučnog metoda i njegove upotrebe u svrhu rešavanja problema	
	Prikaz načina stimulisanja zaposlenih	

U obuci bi trebalo da učestvuju svi zaposleni, od menadžmenta do izvršilaca. Obuku bi trebalo izvršiti u dve iteracije. U prvoj iteraciji se obučavaju predstavnici srednjeg i nižeg menadžmenta iz svih organizacionih celina kompanije. Prisustvo predstavnika svih organizacionih jedinica je neophodno zato što je protočno vreme u nerepetitivnim proizvodnim sistemima relativno dugačko, i zadovoljenje potreba korisnika uključuje sve faze internog lanca snabdevanja, a ne samo proizvodnju. Osnovni cilj obuke je razumevanje principa lin pristupa, i načina na koji se ti principi mogu operacionalizovati u svakodnevnom poslovanju. Pored toga, značajno je zaposlenima preneti i osnovna znanja iz procesnog pristupa, kako bi razumeli potrebu za zajedničkim radom na stvaranju vrednosti i rešavanju problema. Od posebnog je značaja razumevanje načina na koji proizvodni sistem stvara vrednost za korisnika, kao i moguće prepreke koje se mogu naći na putu stvaranja vrednosti. Neophodno je da zaposleni dobro razumeju koncept rasipanja kao svega onoga što ometa kontinuirani tok stvaranja vrednosti, kako bi bili u mogućnosti da ih samostalno identifikuju i eliminišu. Značajan aspekt obuke je predstavljanje naučnog metoda za rešavanje problema. Predstavnici srednjeg i nižeg menadžmenta se obučavaju da u budućnosti samostalno uočavaju i rešavaju probleme u skladu sa principima lin pristupa, uz upotrebu naučnog metoda. Drugu iteraciju predstavlja obuka neposrednih izvršilaca, gde srednji i niži nivo

menadžmenta prenosi znanja koja su dobili u prvoj iteraciji obuke na neposredne izvršioce.

Kako bi se obezbedilo aktivno učešće svih zaposlenih u budućem unapređenju efikasnosti proizvodnog sistema, u ovoj fazi je neophodno predstaviti i sistem stimulisanja zaposlenih, odnosno sistem pohvala i nagrađivanja. Neophodno je definisati tip stimulacije, kao i jasne kriterijume po kojima će zaposleni biti stimulisani (Slović et al., 2016).

Definisanje operativnih performansi proizvodnog sistema

U ovoj fazi je neophodno vrednost koju korisnik zahteva od kompanije prevesti na konkretan skup operativnih performansi. Ovaj korak ima tri faze, koje su, uz očekivane rezultate ovog koraka, date u Tabeli 26.

Tabela 26. Faze i rezultati koraka Definisanje željenog nivoa performansi proizvodnog sistema

Korak modela	Faze u okviru koraka	Očekivani rezultati koraka
Definisanje željenog nivoa performansi proizvodnog sistema	Prevođenje dimenzija vrednosti koje zahteva korisnik na skup merljivih performansi proizvodnog sistema	Skup merljivih performansi proizvodnog sistema i uspostavljanje sistema za njihovo merenje i praćenje
	Identifikovanje željenog nivoa performansi proizvodnog sistema	
	Uspostavljanje sistema merenja i praćenja nivoa performansi	

Performanse bi trebalo da budu merljive, i najbolje ih je kvantitativno predstaviti, gde se za svaku od identifikovanih performansi definiše željeni nivo, čijim se dostizanjem osigurava stvaranje vrednosti za korisnika. Za početak je najbolje da skup performansi bude ograničen, kako bi se obezbedilo zadržavanje fokusa u naporima za unapređenje efikasnosti. Nakon što se postignu zadovoljavajući rezultati u unapređenju performansi iz početnog, ograničenog skupa, skup se može proširiti novim performansama. Kompanija treba da da prednost eksterno orijentisanim performansama (na primer, protočno vreme, preciznost isporuke i slično) u odnosu na interno orijentisane (na primer, nivo zaliha nedovršene proizvodnje, stepen korišćenja kapaciteta i slično), s

obzirom da unapređenje eksterno orijentisanih performansi u većoj meri doprinosi zadovoljenju potreba korisnika.

Na kraju je potrebno projektovati sistem merenja i evidentiranja operativnih performansi, u cilju njihovog kontinuiranog praćenja.

Snimak i analiza postojećeg stanja

Snimak i analiza postojećeg stanja se vrše u cilju potpunog razumevanja trenutnog načina odvijanja procesa. Kao dominantan metod u ovom koraku se koristi neposredno posmatranje, u kombinaciji sa indirektnim izvorima podataka (izveštaji, statistički podaci, intervjui i slično). Faze i očekivani rezultati ovog koraka su dati u Tabeli 27.

Tabela 27. Faze i rezultati koraka Snimak i analiza postojećeg stanja

Korak modela	Faze u okviru koraka	Očekivani rezultati koraka
Snimak i analiza postojećeg stanja	Identifikacija svih koraka i učesnika u lancu stvaranja vrednosti	Prikaz postojećeg načina stvaranja vrednosti sa svim relevantnim informacijama i identifikacija problematičnih područja
	Identifikacija i eliminisanje očiglednih rasipanja	
	Merenje performansi proizvodnog sistema i poređenje sa željenim nivoom	
	Identifikacija problematičnih područja	
	Identifikacija područja u kojima je moguće ostvariti brza poboljšanja	

U snimku postojećeg stanja je neophodno fokusirati se na ceo lanac stvaranja vrednosti, odnosno na sve faze internog lanca snabdevanja, od prijema porudžbine do isporuke gotovih proizvoda. Postojeći način odvijanja procesa treba grafički predstaviti, kao lanac stvaranja vrednosti (ukoliko se može prepoznati dominantan tok materijala) ili kao mrežu stvaranja vrednosti (ukoliko nije moguće prepoznati dominantan tok). Pored toka materijala, podjednaku pažnju treba posvetiti mapiranju toka informacija. Nakon izrade snimka stanja celokupnog internog lanca snabdevanja, postupak treba ponoviti za delove lanca snabdevanja, a kasnije i za pojedina radna mesta u okviru delova lanca snabdevanja, a u zavisnosti od identifikovanih problematičnih područja.

Nakon završene obuke zaposleni bi trebalo da poznaju koncept rasipanja kao svega onoga što ometa kontinuirani tok stvaranja vrednosti, i da imaju dovoljno znanja da ih samostalno identifikuju i predlože načine kako da se ona smanje ili eliminišu. I u ovu fazu bi trebalo uključiti zaposlene iz svih faza internog lanca snabdevanja, od prijema porudžbine do isporuke. Od zaposlenih treba zahtevati da identifikuju rasipanja u delovima kompanije u kojima oni rade. Takođe treba zahtevati da se identifikovana rasipanja klasifikuju sa stanovišta relativne značajnosti. Kompleksnost procesa, a time i njegova nestabilnost, raste sa brojem entiteta u procesu (ljudi, mašine, alati, koraci procesa, informacije i slično), i sa brojem interakcija između tih entiteta. Ukoliko entiteti predstavljaju rasipanja, onda je proces nepotrebno kompleksan. Eliminisanjem rasipanja se eliminišu svi elementi procesa koji su nepotrebni, pa se time smanjuje nestabilnost procesa. Sami zaposleni treba da daju predloge kako bi identifikovana rasipanja mogla da se eliminišu.

Snimak stanja se poredi sa željenim nivoom operativnih performansi proizvodnog sistema. Ukoliko su operativne performanse na željenom nivou, vrši se dodatna standardizacija postojećeg načina rada, i ulazi se u novi ciklus implementacije modela. Ukoliko performanse nisu na željenom nivou, vrši se identifikacija i prioritizacija problematičnih područja, po kriterijumu uticaja na operativne performanse. U ovoj fazi je preporučljiva upotreba pareto selekcije, koja može da ukaže na područja u kojima se javljaju problemi, kao i na veličinu problema (na primer, može se koristiti pareto analiza protočnog vremena, troškova i slično). Ukoliko ne postoje precizni podaci neophodni za analizu, mogu se koristiti i procene, ukoliko se utvrdi da su dovoljno precizne. Od posebnog je značaja identifikacija područja u kojima je moguće ostvariti brza poboljšanja. Ostvarivanje brzih rezultata značajno utiče na moral zaposlenih, i motiviše ih da nastave u pravcu traženja novih mogućnosti za unapređenja.

U ovoj fazi je značajno postavljati otvorena pitanja (Šta? Zašto? Kako?), koja ne sugerišu *a priori* rešenja, već otvaraju mogućnost pronalaženja konkretnih kontramera za konkretne probleme. Pored toga, kompaniji je na raspolaganju širok skup alata koji se mogu koristiti, a koji ne zavise od konteksta u kojem se upotrebljavaju, kao što su Ishikava dijagram, špageti gijagram, SIPOC dijagram, karta modela, hodogram, karta zahvata, karta pokreta, i slično.

Stabilizacija procesa

Stabilizacija procesa se vrši u cilju otklanjanja prepreka nesmetanom i uravnoteženom toku stvaranja vrednosti. Stabilizacija procesa, uz naredna dva koraka, predstavlja suštinu modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Osnovni zadatak ovog, i naredna dva koraka, je aktivno oblikovanje proizvodnog okruženja. Faze i očekivani rezultati ovog koraka su dati u Tabeli 28.

Tabela 28. Faze i rezultati koraka Stabilizacija procesa

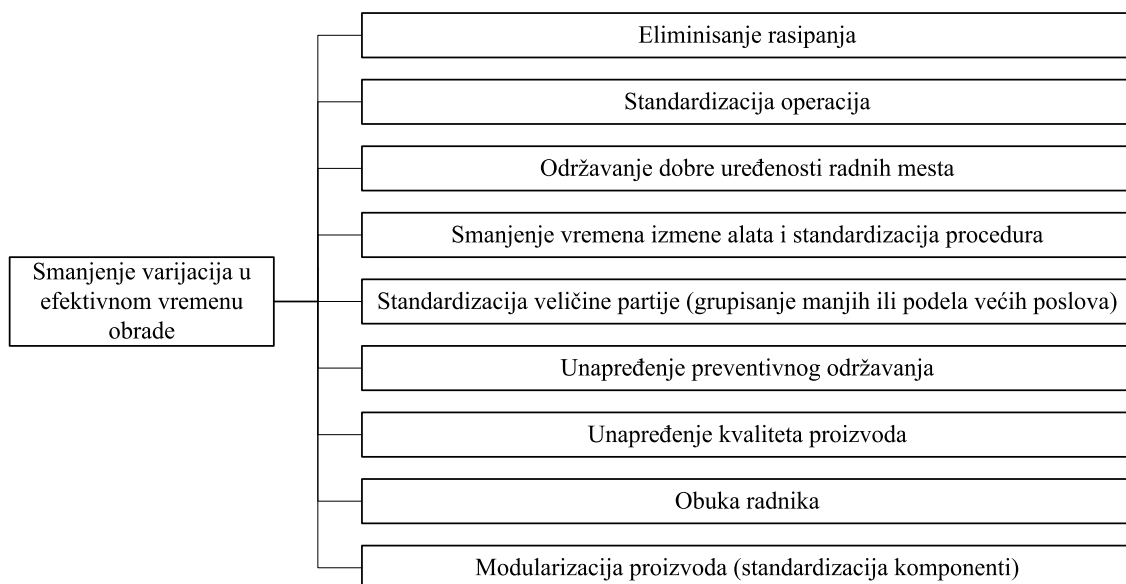
Korak modela	Faze u okviru koraka	Očekivani rezultati koraka
Stabilizacija procesa	Stvaranje strukturalnih preduslova za stabilizaciju procesa	Smanjivanje kompleksnosti sistema i aktivno eliminisanje varijacija u cilju obezbeđivanja brzog i uravnoteženog toka stvaranja vrednosti
	Preispitivanje postojanja varijacija	
	Detektovanje varijacija	
	Identifikovanje uzroka varijacija	
	Eliminisanje uzroka varijacija	

Stvaranje strukturalnih preduslova za stabilizaciju procesa predstavlja specificiranje ustaljnog (željenog) načina odvijanja procesa. Ova faza je veoma značajna, jer predstavlja osnovu za identifikaciju varijacija. Odvijanje procesa na način koji je različit od ustaljenog, odnosno željenog, znači da postoje varijacije.

Nakon toga je potrebno detektovati gde se varijacije javljaju, i koji je njihov uzrok. U svrhu stabilizacije procesa, neophodno je delovati na dva tipa varijacija: varijacije u dolasku novih poslova (varijacija u tražnji, kao i varijacije u kretanju poslova između radnih centara) i varijacije u efektivnom vremenu obrade. Cilj je smanjiti varijacije tamo gde je moguće, odnosno aktivno upravljati njima tamo gde smanjenje nije moguće, kako bi se kompenzovao njihov uticaj.

Na Slici 26 je dat pregled mogućih aktivnosti kojima se može delovati na varijacije u efektivnom vremenu obrade. Svrha unapređenja metoda rada je da se pronade najlakši, najbezbedniji i najefikasniji način izvršenja operacija sa ciljem povećanja produktivnosti i humanizacije rada. To je ciklični postupak sistematskog snimanja i ispitivanja načina na koji se nešto radi, sa namerom da se naprave poboljšanja koja bi stabilizovala proces. Skraćenje vremena izmene alata se može postići smanjenjem

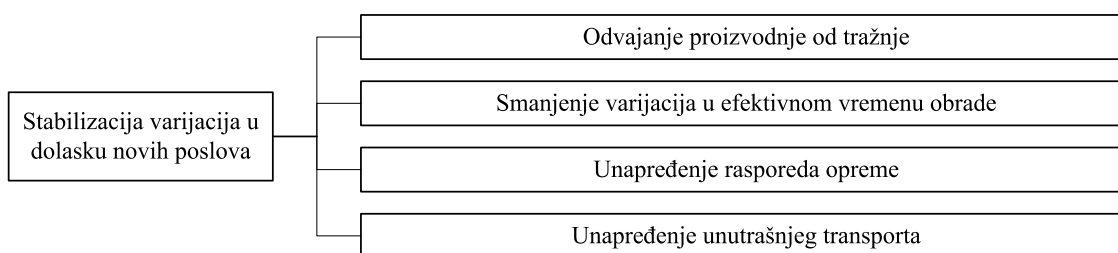
vremena potrebnog po izmeni, kao i smanjenje broja izmena alata. Smanjenje vremena potrebnog po jednoj izmeni se može postići unapređenjem procedura za izmenu alata korišćenjem tehnika kao što je SMED. Unapređenje preventivnog održavanja bi trebalo da duge otkaze pretvori u nekoliko kraćih, kojima je lakše upravljati (Hopp & Spearman, 2008). Cilj je povećati ukupnu pouzdanost i raspoloživost opreme, i na taj način smanjiti uticaj prekida usled kvarova i otkaza na efektivno vreme obrade. Efektivno vreme obrade može uključivati i vreme koje je potrebno za ispravku loših komada, odnosno doradu. Zbog toga je neophodno obezbediti kvalitet na izvoru, i unaprediti procedure za kontrolu kvaliteta, kako bi se obezbedila rana detekcija problema sa kvalitetom. Kako bi se obezbedila konzistentnost u izvođenju operacija, neophodno je izraditi standardne procedure koje jednostavno i jasno opisuju zadatke koje treba izvršiti i njihov redosled. Veličina posla u nerepetitivnim proizvodnim sistemima može znatno da varira. Kako bi se smanjio uticaj ovih varijacija, neophodno je stabilizovati veličinu partije koja se obrađuje. Ovo se može postići grupisanjem nekoliko manjih sličnih poslova u jednu partiju, ili podelom velikih poslova na nekoliko manjih partija. Ova aktivnost je u direktnoj vezi sa smanjenjem vremena izmene alata s obzirom da podela posla na više manjih zahteva više izmena alata, pa one moraju biti efikasnije.



Slika 26. Mogući pravci delovanja na varijacije u efektivnom vremenu obrade

Dobra uređenost radnih mesta je značajna za povećanje efikasnosti radnih mesta, i može se postići primenom 5S postupka povećanja uređenosti. Kao što je ranije pomenuto, eliminacijom rasipanja se smanjuje kompleksnost sistema, s obzirom da redundantne i nepotrebne operacije mogu produžiti vreme trajanja obrade. Cilj obuke radnika je da obezbedi konzistentnost znanja i veština koje su potrebne za obavljanje operacija. Pored toga, značajno je obezbediti radnicima uslove za efikasno obavljanje operacija, i sprečiti preopterećenost radnika koja bi mogla dovesti do iscrpljenosti. Na kraju, modularizacija proizvoda može dovesti do smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade, s obzirom da bi se diverzifikacija proizvoda obezbedila različitim kombinovanjem standardnih komponenti i modula (ovo može biti teško ostvarivo u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, s obzirom njihovu konkurentsku prednost predstavlja upravo mogućnost izrade proizvoda koji su specifični i jedinstveni).

Na Slici 27 su prikazani neki od mogućih pravaca delovanja na varijacije u dolasku novih poslova.



Slika 27. Mogući pravci delovanja na varijacije u dolasku novih poslova

Neregularnost i nepredvidivost tražnje predstavljaju jednu od definišućih karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema, i teško je smanjiti varijacije koje se javljaju u dolasku novih poslova, ali je zato moguće smanjiti njihov uticaj na proizvodni sistem. To se može postići odvajanjem proizvodnje od tražnje, gde bi novi poslovi dolazili u skup poslova, odakle bi se kontrolisano puštali u proizvodnju (detaljni mehanizam će biti objašnjen u narednim koracima). Pored kompenzovanja varijacija u tražnji, potrebno je uticati i na varijacije u kretanju poslova između radnih centara. Veliki uticaj na uniformnost pristizanja poslova na radne centre imaju i varijacije u efektivnom vremenu obrade, pa se na varijacije u kretanju poslova između radnih centara može uticati i kroz sve pravce delovanja na varijacije u efektivnom vremenu obrade. Pored

toga, značajan uticaj na varijacije u kretanju poslova između radnih centara se može postići unapređenjem rasporeda opreme i unutrašnjeg transporta. Iako je nerepetitivnim proizvodnim sistemima teško ostvarivo, aktivno upravljanje tražnjom može značajno uticati na smanjenje varijacija u dolasku novih poslova. Istaknutu ulogu ovde imaju marketing i prodaja, čiji bi zadatak bio da ponude modularne proizvode, ili stimulišu tražnju u pravilnim vremenskim razmacima.

Skup mogućih pravaca za delovanje na varijacije nije konačan. Koje će aktivnosti na smanjenju varijacija biti preduzete zavisi od toga koji su uzroci varijacija prepoznati, i koje su mogućnosti njihovog eliminisanja. Ono što treba napomenuti je da je uticaj varijacija izraženiji u situacijama u kojima je stepen korišćenja kapaciteta visok. Kada je stepen korišćenja kapaciteta visok, treba analizirati da li je jednostavnije smanjiti opterećenje kapaciteta ili uticati na varijacija, i u tom smislu odrediti tok budućih akcija.

Kao načini delovanja na varijacije su pomenuti neki od prepoznatljivih alata lin pristupa (5S, standardna operacija, SMED, totalno produktivno održavanje). Ono što je preporučljivo je da se u cilju eliminisanja varijacija razviju specifični alati koji mogu biti kontramera problemima koji su karakteristični za nerepetitivne proizvodne sisteme, uz primenu naučnog pristupa rešavanju problema.

Upravljanje baferima

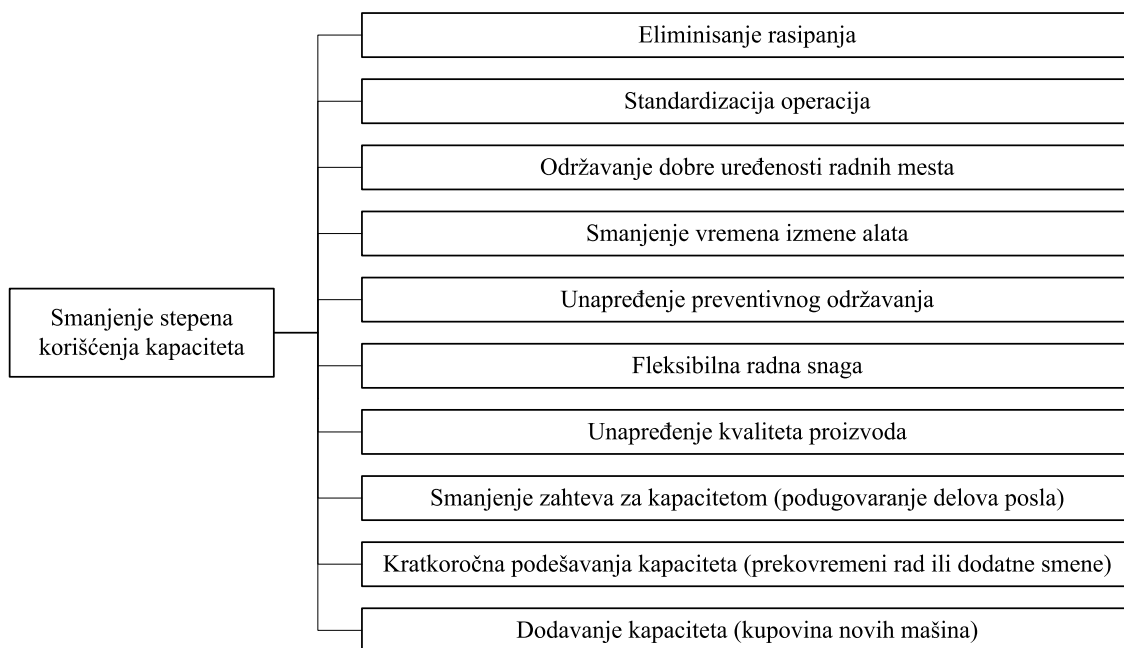
Upravljanje baferima treba da obezbedi efikasnu kompenzaciju preostalih varijacija, tako što će bafere svesti na najmanju moguću meru, a da pri tome ne ugrozi nesmetani tok stvaranja vrednosti. Faze i očekivani rezultati ovog koraka su dati u Tabeli 29.

Tabela 29. Faze i rezultati koraka Upravljanje baferima

Korak modela	Faze u okviru koraka	Očekivani rezultati koraka
Upravljanje baferima	Identifikacija bafera	Obezbeđivanje optimalnog načina kompenzovanja varijacija, u cilju obezbeđivanja brzog i uravnoteženog toka stvaranja vrednosti
	Raspoređivanje i dimenzionisanje bafera	
	Smanjenje/eliminisanje bafera	

S obzirom da skraćanje vremena isporuke, odnosno protočnog vremena, predstavlja jedan od ciljeva nerepetitivnih proizvodnih sistema, pažnju kod upravljanja baferima treba usmeriti na preostala dva, odnosno na zalihe i kapacitete.

Postojanje bafera u nerepetitivnim proizvodnim sistemima nije moguće izbeći. Ono na šta se može uticati je koja će biti veličina bafera, i na koji način će oni biti raspoređeni. Na primer, ukoliko postoji statično usko grlo, važno je postaviti bafer zaliha ispred njega, kako bi se sprečio gubitak kapaciteta na uskom grlu koji znači i gubitak kapaciteta u celom sistemu (videti Goldratt & Cox, 1984), kao i dodatnim kapacitetom, kako bi se obezbedio brži protok poslova kroz usko grlo. Treba istaći da, ukoliko varijacije nisu pod kontrolom, smanjenje veličine jednog bafera dovodi do povećanja drugog. Način na koji će kompanija rasporediti bafere i njima upravljati zavisi načina na koji se stvara vrednost za korisnika, odnosno od načina na koji kompanija ostvaruje konkurentsku poziciju na tržištu. Na primer, ako vrednost za korisnika predstavlja kratko vreme isporuke, kompanija će se truditi da vremenski bafer održi na istom nivou, ili da ga smanji. To znači da će i veličina druga dva bafera morati da se promeni. Pošto je cilj ostvariti kratko protočno vreme, kod nerepetitivnih proizvodnih sistema je neophodno smanjiti bafer zaliha nedovršene proizvodnje. Sa druge strane, kako bi to bilo moguće, neophodno je uticati i na bafer kapaciteta, tako što će se on povećati. Ovde je važno napomenuti da cilj nije povećanje stepena korišćenja kapaciteta, već povećanje raspoloživosti kapaciteta. Neki od pravaca delovanja na smanjenje stepena korišćenja kapaciteta su dati na Slici 28.

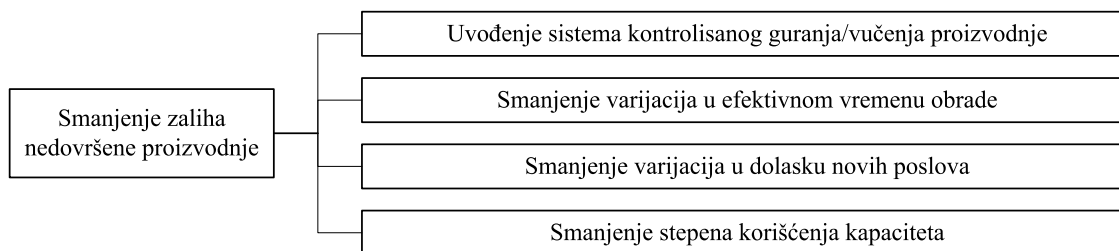


Slika 28. Mogući pravci delovanja na smanjenje stepena korišćenja kapaciteta

Ono što se može primetiti je da određeni pravci delovanja na varijacije u efektivnom vremenu obrade mogu uticati i na smanjenje stepena korišćenja kapaciteta, uz mogućnost nešto drugačijeg fokusa. Na primer, kod smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade, unapređenje izmene alata može biti fokusirano na standardizaciju procedura izmene alata, dok kod smanjenja stepena korišćenja kapaciteta fokus može biti na smanjenju vremena izmene alata. Ovo može imati značajne implikacije za nerepetitivne proizvodne sisteme, gde prednost treba dati onim pravcima delovanja kojima se mogu ostvariti višestruki efekti (na primer, unapređenju metoda rada, unapređenju efikasnosti izmene alata, unapređenju preventivnog održavanja, unapređenje kvaliteta proizvoda i slično). Značajnu ulogu u smanjivanju stepena korišćenja kapaciteta ima i eliminisanje rasipanja i aktivnosti koje ne dodaju vrednost, pa se može reći da se sa aktivnostima na oslobađanju kapaciteta počinje već u prethodnim koracima modela, odnosno snimka i analize postojećeg stanja, s obzirom da se u tom koraku analizira mogućnost eliminisanja rasipanja.

Kratkoročna podešavanja kapaciteta, kroz prekovremeni rad i uvođenje dodatnih smena, mogu značajno smanjiti stepen korišćenja kapaciteta, i njihov značaj je prepoznat i u Tojoti (Shingo, 1989). Pored toga, na smanjenje stepena korišćenja kapaciteta je moguće delovati i kroz smanjenje zahteva za korišćenjem kapaciteta, tako što će se neki delovi poslova ili poslovi u celini autorsovati. Na kraju, postoji i opcija dodavanja kapaciteta, kroz kupovinu nove opreme. Međutim, ova opcija je skupa, i nerepetitivni proizvodni sistemi se retko za nju odlučuju.

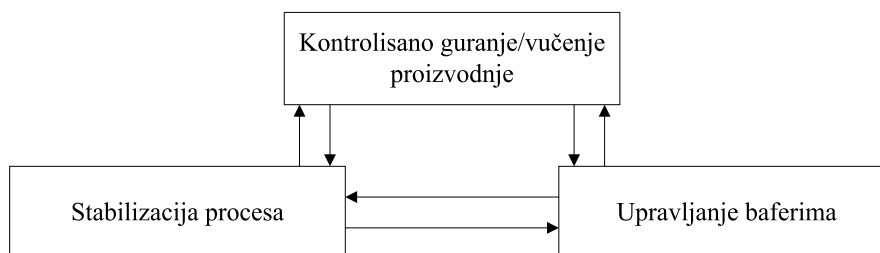
Drugi bafer kojim treba upravljati u nerepetitivnim proizvodnim sistemima su zalihe nedovršene proizvodnje. Na Slici 29 su prikazani mogući pravci delovanja na smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje.



Slika 29. Mogući pravci delovanja na smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje

Zalihe nedovršene proizvodnje povećavaju redove čekanja ispred radnih centara. Dužina redova čekanja je u direktnoj vezi sa varijacijama u efektivnom vremenu obrade, varijacijama u dolasku novih poslova i stepenom korišćenja kapaciteta, pa sve aktivnosti na smanjenju uticaja ovih elemenata posredno deluju i na smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje. Pored toga, zalihe nedovršene proizvodnje se mogu smanjiti uvođenjem sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje, gde bi se puštanje novih poslova u proizvodnju kontrolisalo maksimalnim dozvoljenim nivoom zaliha nedovršene proizvodnje (Hopp & Spearman (2004) navode kako je sistem vučenja proizvodnje svaki onaj koji kontroliše nivo zaliha nedovršene proizvodnje).

Stabilizacija procesa i upravljanje baferima su tesno povezani. Smanjenje varijacija deluje i na optimizaciju bafera, odnosno smanjuje potrebu za baferima. Sa druge strane, smanjenje bafera otkriva nove uzroke varijacija, koji se smanjuju daljom stabilizacijom procesa. Pored toga, postoji veza između sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje i upravljanja baferima. Ako je jedan od zadataka sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje da ograniči nivo zaliha nedovršene proizvodnje, onda se može reći da je upravljanje baferima značajna komponenta uspostavljanja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje. Uzajamni uticaj stabilizacije procesa, upravljanja baferima i uspostavljanja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje je dat na Slici 30.



Slika 30. Uzajamni uticaj stabilizacije procesa, upravljanja baferima i uspostavljanja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje

Stabilizacija procesa omogućava da se baferi smanje, dok minimizacija bafera povećava vidljivost problema u proizvodnji, čijim rešavanjem se postiže dalja stabilizacija procesa. I stabilizacija procesa i upravljanje baferima obezbeđuju uslove za uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje (naredni korak u

modelu implementacije). Sa druge strane, sistem kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje obezbeđuje uravnotežen i stabilan tok materijala kroz proizvodnju, i čini probleme u proizvodnji vidljivijim. Povećana vidljivost problema omogućava dalju stabilizaciju procesa, što omogućava dalje smanjivanje bafera, a posledično i dalje unapređenje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje.

Kontrolisano guranje/vučenje proizvodnje

Uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje ima za cilj da obezbedi uravnotežen i stabilan tok materijala kroz proizvodnju. Faze i očekivani rezultati ovog koraka su prikazani u Tabeli 30.

Tabela 30. Faze i rezultati koraka Kontrolisano guranje/vučenje proizvodnje

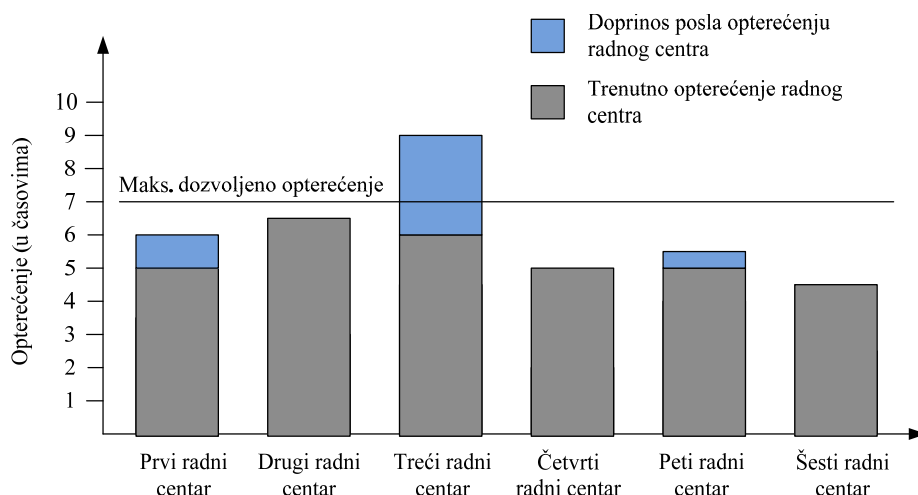
Korak modela	Faze u okviru koraka	Očekivani rezultati koraka
Kontrolisano guranje/vučenje proizvodnje	Uspostavljanje efikasnog toka informacija o stanju sistema	Uravnotežen, stabilan i transparentan tok materijala kroz proizvodnju
	Odvajanje proizvodnje od tražnje uspostavljanjem skupa poslova za puštanje	
	Definisanje signala za kontrolisano guranje/vučenje proizvodnje	
	Guranje/vučenje proizvodnje na osnovu signala o povratnih informacija o stanju sistema	
	Uspostavljanje FIFO principa za kretanje materijala između radnih centara	

Kako bi se primenio sistem kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje, neophodno je prvo uspostaviti adekvatan sistem izveštavanja, koji bi vraćao informacije o stanju sistema, odnosno o trenutnom opterećenju proizvodnje. Opterećenje se može meriti na dva načina: (i) kao broj poslova koji je trenutno u radionici (broj aktivnih naloga koji su u proizvodnji); i (ii) kao ukupna količina posla koja je vezana za nedovršenu proizvodnju (izraženo u vremenskim jedinicama). Informacije se mogu prikupljati za pojedinačne radne centre, ili za radionicu u celini. Prikupljanje informacija o opterećenju radnih centara omogućava bolje uravnoteženje opterećenja između radnih centara, što utiče na uravnoteženje toka materijala. Na ovaj način se u nerepetitivnim proizvodnim sistemima realizuju principi koji se u repetitivnim proizvodnim sistemima

realizuju primenom dijagrama opterećenja operatera. Prikupljanje informacija o opterećenju izraženom u vremenskim jedinicama je nešto komplikovanije od prikupljanja informacija o opterećenju izraženom u broju poslova, pošto je neophodno prikupiti informacije o količini posla koju je sadržao nalog koji je realizovan.

Nakon uspostavljanja sistema izveštavanja, neophodno je odvojiti tražnju od proizvodnje, tako što će se uvesti skup (*eng. pool*) radnih naloga, odnosno poslova koji čekaju da budu pušteni. Novi radni nalozi se ne puštaju u proizvodnju istog momenta kada su spremni, već se zadržavaju u skupu, i puštaju u proizvodnju na osnovu povratnih informacija o opterećenju proizvodnje ili o slobodnim kapacitetima. Radni nalozi se puštaju u proizvodnju periodično (na primer na početku svake smene, radnog dana ili nedelje) ili kontinuirano (na primer, svaki put kada dođe novi radni nalog, ili neki radni nalog bude realizovan razmatra se puštanje novog). Na ovaj način se obezbeđuje stabilnost u dolasku novih poslova u proizvodnju, i kompenzuju varijacije koje se javljaju u tražnji. Time se postiže aktivno upravljanje tražnjom, bez redukovanja varijeteta proizvoda koji se nude na tržištu.

Radni nalozi se puštaju u proizvodnju na osnovu signala, odnosno maksimalnog nivoa opterećenja radionice, svakog radnog centra ili slobodnih kapaciteta (kod slobodnih kapaciteta, signal može biti nula, ili unapred definisani minimalni nivo opterećenja). Ukoliko signal predstavlja maksimalno opterećenje, količina posla vezana za svaku operaciju u okviru određenog radnog naloga doprinosi radnom opterećenju odgovarajućeg radnog centra na kojem se operacija izvodi, a koje čini količina posla u okviru svih radnih naloga koji su pušteni u proizvodnju, a koji se obrađuju na odgovarajućem radnom centru. Novi radni nalog se iz skupa radnih naloga pušta u proizvodnju samo ukoliko njegovo puštanje neće dovesti do prekoračenja maksimalnog opterećenja na bilo kom od radnih centara koji se nalaze na njegovoj putanji. Grafički prikaz kontrole opterećenja je dat na Slici 31. Ukoliko potencijalno prekoračenje maksimalnog opterećenja ne dozvoljava puštanje novih radnih naloga, a postoje jaki zahtevi za kapacitetima (na primer, definisani rokovi koji će biti probijeni ukoliko radni nalog ne bude pušten u proizvodnju), vrši se kratkoročno podešavanje kapaciteta, kroz uvođenje prekovremenog rada ili dodatnih smena.



Slika 31. Primer kontrole opterećenja prilikom puštanja novih poslova u proizvodnju

Posao koji se razmatra za puštanje ima tri operacije, na prvom radnom centru gde bi trebalo da se obrađuje jedan sat, trećem radnom centru gde bi trebalo da se obrađuje tri sata, i petom radnom centru gde bi trebalo da se obrađuje pola sata. U primeru sa slike se vidi da bi posao doveo do prekoračenja maksimalnog opterećenja na trećem radnom centru, pa se njegovo puštanje odlaže dok se opterećenje radnih centara dodatno ne smanji.

Kada se operacija završi, radno opterećenje za posmatrani radni centar se umanjuje za količinu posla koja je vezana za posmatranu operaciju. Radno opterećenje predstavlja nedovršenu proizvodnju. Držanje određenog nivoa zaliha nedovršene proizvodnje u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je korisno, s obzirom da one kompenzuju varijacije koje su inherentne za sam proces proizvodnje. Cilj je nedovršenu proizvodnju svesti na najmanju moguću meru, kako bi se redovi čekanja ispred radnih centara učinili kratkim i stabilnim, što ima pozitivan uticaj na protočna vremena i produktivnost procesa. U početku, kada je stabilnost procesa mala, maksimalno opterećenje treba postaviti visoko, kako bi varijacije mogle da se kompenzuju bez velikog uticaja na sam proces. Kako se proces stabilizuje, maksimalno opterećenje treba postepeno smanjivati. Svako smanjivanje dozvoljenog opterećenja će učiniti vidljivim nove probleme, čijim će se rešavanjem proces učiniti još stabilnijim, što omogućava dalje smanjenje dozvoljenog opterećenja. Kao posledicu toga imamo da se protočna vremena u proizvodnji smanjuju, dok se produktivnost povećava. Pored toga, smanjuje se potreba

za dispečiranjem radnih naloga, pa je moguće uspostaviti sistem kretanja materijala u proizvodnji po FIFO principu.

Sličan princip se može koristiti i kada se opterećenje meri za celu radionicu, ili kada se meri u broju radnih naloga po radnim centrima (generički Kanban; videti Chang & Yih, 1994) ili za radionicu u celini (CONWIP; videti Spearman et al., 1990). Bez obzira o kojoj varijanti se radi, princip funkcionisanja je sličan i zasnovan na kontroli ulaza/izlaza, gde se odluka o puštanju novog ulaza u proizvodnju donosi na osnovu opterećenja koje je umanjeno kroz izlaz iz proizvodnje.

Pored informacija o nivou zaliha nedovršene proizvodnje, signal za „vučenje“ mogu biti slobodni kapaciteti, gde se novi nalog pušta u proizvodnju svaki put (kontinualno) kada radno opterećenje nekog od radnih centara koji je na njegovoj putanji padnu ispod nekog unapred definisanog nivoa, ili na nulu.. Periodičan i kontinualan način puštanja poslova se mogu kombinovano koristiti.

Nakon ovog koraka se vrši evaluacija postignutih rezultata. Ukoliko nivo operativnih performansi nije na željenom nivou, ulazi se u novi ciklus unapređenja, počevši sa stabilizacijom procesa. Ukoliko je nivo operativnih performansi na željenom nivou, prelazi se na standardizaciju rešenja.

Standardizacija rešenja

Standardizacija rešenja ima za cilj prezentovanje, dokumentovanje i usvajanje novog načina rada. Faze i očekivani rezultati ovog koraka su dati u Tabeli 31.

Tabela 31. Faze i rezultati koraka Standardizacija rešenja

Korak modela	Faze u okviru koraka	Očekivani rezultati koraka
Standardizacija rešenja	Dokumentovanje novog načina rada	Usvajanje novog načina rada i stvaranje osnova za dalja unapređenja procesa
	Prezentovanje novog načina rada i ostvarenih efekata	
	Stimulisanje zaposlenih kroz nagrade i priznanja	

Rešenja koja su postignuta u prethodnim koracima je potrebno detaljno dokumentovati, i ona postaju nova najbolja praksa u okviru kompanije. Na osnovu standardizovanih

rešenja se vrši izmena atributa nerepetitivnog proizvodnog sistema, čime se stvara osnova za dalja unapređenja. Standardizovano rešenje se prezentira svim zaposlenima, sa ciljem obezbeđivanja potpunog razumevanja novog načina rada, kao i očekivanih efekata.

Primena modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima je kontinualan proces, i ne podrazumeva samo jednu iteraciju. Neophodno je obezbediti da standardizacija rešenja ne postane samo slepo praćenje pravila, već uspostaviti sistem u kojem standard postaje samo novi osnov za poboljšanje. Zbog toga je neophodno obezbediti motivisanost zaposlenih da aktivno učestvuju u kontinualnom poboljšavanju. Ovo se može postići na dva načina: (i) kontinuiranom obukom zaposlenih; i (ii) uspostavljanje sistema pohvala i nagrađivanja. Nakon što novo rešenje postane standard, neophodno je pohvaliti i nagraditi (finansijski ili nefinansijski) zaposlene koji su aktivno doprineli njegovom formulisanju. Sistem pohvale i nagrađivanja mora biti transparentan, gde su kriterijumi za pohvalu ili nagradu jasni i precizno definisani.

5.3 Rezime i zaključci poglavlja

Model implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima predstavlja teorijsku osnovu za primenu principa lin pristupa, ali i praktičan alat koji propisuje način na koji se lin pristup može implementirati u specifičnom proizvodnom okruženju.

Formalizacije modela je započeta definisanjem konceptualnog okvira implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, čiji je zadatak da principe lin pristupa, koji u dobro poznati i primenjivani u repetitivnim proizvodnim sistemima, stavi u kontekst nerepetitivnih proizvodnih sistema sa svim svojim karakteristikama i specifičnostima. Analiza principa lin pristupa u kontekstu nerepetitivnih proizvodnih sistema je potvrdila stav koji su izneli Womack et al. (1990) da su principi lin pristupa univerzalno primenljivi, i ponuđeno je tumačenje principa lin pristupa koje je bliže specifičnostima nerepetitivnih proizvodnih sistema. U kontekstu nerepetitivnih proizvodnih sistema, principi lin pristupa daju odgovore na sledeća pitanja:

- Šta je vrednost za korisnika?
- Kako se stvara vrednost za korisnika?
- Kako obezbediti da se tok stvaranja vrednosti obvia brzo i ujednačeno?

- Kako sinhronizovati transformisane resurse, transformišuće resurse i zahteve za resursima (tražnju)?
- Kako kontinuirano tražiti odgovore na prethodna četiri pitanja?

Sam model implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima operacionalizuje principe lin pristupa u specifičnom okruženju. Model sugerise niz koraka primene prilagođenih principa lin pristupa u cilju unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Model predstavlja strukturirani pristup davanju odgovora na pitanja koja su identifikovana u analizi principa lin pristupa. Iako se u modelu spominju neki od prepoznatljivih alata lin pristupa, oni ne predstavljaju njegovu suštinu, već samo neke od mogućih pravaca delovanja u cilju rešavanja problema i unapređivanja operativnih performansi. Srž modela predstavljaju principi lin pristupa, i ovo je prvi pokušaj (koliko je autoru poznato) da se formalizuje način na koji se ti principi mogu implementirati u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Prikaz formalizacije modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema, i njegov detaljan opis, potvrđuju pojedinačnu hipotezu:

H1.5 Moguće je formalizovati model implementacije lin pristupa u nerepetitivnom proizvodnom sistemu.

Potvrda pojedinačne hipoteze H1.5, uz prethodnu potvrdu pojedinačnih hipoteza H1.1 do H1.4, potvrđuje posebnu hipotezu:

H1 Moguće je implementirati lin pristup u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

6. Mogućnosti unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema primenom modela implementacije lin pristupa

Cilj ovog dela istraživanja je da se utvrdi da li primena formalizovanog modela implementacije lin pristupa može da dovede do unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Ovaj deo istraživanja daje odgovor o potvrđi posebne hipoteze:

H2 Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnom okruženju uticati na operativne performanse kompanije.

Posebna hipoteza se dalje razrađuje do pojedinačnih hipoteza i potvrđuje ili odbacuje na osnovu potvrde ili odbacivanja pojedinačnih hipoteza:

H2.1 Protočno vreme i pouzdanost isporuke su elementi skupa operativnih performansi kompanije.

H2.2 Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa skratiti protočna vremena u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

H2.3 Moguće je primenom modela lin pristupa povećati pouzdanost isporuke gotovih proizvoda, odnosno smanjiti procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke, kao i prosečno vreme kašnjenja u isporuci u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Da bi se potvrdila ili odbacila posebna hipoteza H2, izvršeno je istraživanje u dve faze. U prvoj fazi je istražena literatura o operativnim performansama kompanije, sa posebnim osvrtom na pojam i značaj protočnog vremena i pouzdanosti isporuke kao elemenata skupa operativnih performansi kompanije. Rezultati ove faze istraživanja pokazuju da su protočno vreme i pouzdanost isporuke operativne performanse koje su veoma značajne, posebno za nerepetitivne proizvodne sistema, i da mogu predstavljati izvor konkurentске prednosti na tržištu, pa je veoma važno raditi na njihovom unapređenju. U drugoj fazi istraživanja je u kompaniji ALPHA, koja predstavlja tipični nerepetitivni proizvodni sistem, izvršeno empirijsko istraživanje, gde je primenjen

model implementacije lin pristupa. Tokom primene modela su prikupljeni podaci o protočnim vremenima i preciznosti isporuke, i rezultati pokazuju kako primena modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima može dovesti do smanjenja protočnih vremena i povećanja pouzdanosti isporuke.

6.1 Protočno vreme i pouzdanost isporuke kao operativne performanse proizvodnih sistema

Cilj ovog dela istraživanja je da se analizira pojam i značaj protočnog vremena i pouzdanosti isporuke kao operativnih performansi, sa posebnim osvrtom na značaj koji ove operativne performanse imaju za nerepetitivne proizvodne sisteme. Zbog toga je urađeno istraživanje literature o operativnim performansama, i rezultati istraživanja pokazuju da protočno vreme i pouzdanost isporuke predstavljaju operativne performanse koje su od posebnog značaja na nerepetitivne proizvodne sisteme, i da mogu predstavljati izvor konkurentske prednosti na tržištu, i omogućavaju da kompanija bude brža (kraće protočno vreme) i bolja (veća pouzdanost isporuke) od konkurenata. Protočno vreme i pouzdanost isporuke su u direktnoj vezi, i jedan od načina unapređenja pouzdanosti isporuke je skraćivanje protočnog vremena. Protočno vreme i pouzdanost isporuke predstavljaju operativne performanse koje pokazuju koliko su nerepetitivni proizvodni sistemi uspešni u odnosu na postavljene ciljeve, kao i u odnosu na konkurenciju. Rezultatima istraživanja je potvrđena pojedinačna hipoteza:

H2.1 Protočno vreme i pouzdanost isporuke su elementi skupa operativnih performansi kompanije.

Iako su veoma značajne za nerepetitivne proizvodne sisteme, protočno vreme i pouzdanost isporuke nisu i jedine operativne performanse. Međutim, uspeh poslovanja nerepetitivnih proizvodnih sistema u velikoj meri zavisi upravo od nivoa pomenutih performansi, pa je zbog toga važno analizirati načine na koje se pomenute performanse mogu unaprediti.

6.1.1 Pojam i značaj operativnih performansi

Bez obzira koliko je proizvodnja uspešna, uvek postoji potreba (i mogućnost) da bude još uspešnija. Uspeh proizvodnje se često ocenjuje performansama kompanije, odnosno

varijablama koje pokazuju koliko je određena kompanija uspešna u odnosu na unapred postavljene ciljeve ili u odnosu na konkurenciju. Skup performansi koje će određena kompanija koristiti u mnogome zavisi od strategije same kompanije, i može varirati od slučaja do slučaja. Ono što se često navodi kao važno je da skup performansi bude izbalansiran, kako bi se njime pokrili svi aspekti poslovanja (Kaplan & Norton, 1996). Skup performansi koje koristi neka kompanije obično uključuje dve grupe pokazatelja: (i) finansijske performanse; i (ii) nefinansijske, odnosno operativne performanse (Hill, 2012). Izbalansiranost performansi koje će biti praćene upravo podrazumeva ujednačen fokus na obe grupe pokazatelja. Preterani fokus na finansijske performanse može dovesti do nerazumevanja operativnih performansi koje u velikoj meri određuju finansijske pokazatelje. Sa druge strane, preterani fokus na operativne performanse može dovesti do nerazumevanja finansijskih posledica određenog načina poslovanja.

Finansijske performanse predstavljaju ekonomske pokazatelje uspeha kompanije. Neophodno je da svaki menadžer ima uvid u finansijske pokazatelje poslovanja, kako bi mogao da predvidi i razume ekonomske posledice svojih odluka. Međutim, nije redak slučaj da se potpuna pažnja posveti finansijskim pokazateljima, a da se operativni učinak kompanije, koji je pokretač i finansijskog uspeha, stavi u drugi plan.

Operativne performanse predstavljaju varijable koje se koriste u ocenjivanju procesa (Hill, 2012). Operativne performanse predstavljaju učinak kompanije koji se meri u odnosu na standardne ili propisane indikatore efektivnosti, efikasnosti ili ekološke odgovornosti. Enciklopedija operacionog menadžmenta navodi da se operativne performanse grubo mogu podeliti u tri kategorije (Hill, 2012):

- operativne performanse koje se tiču mogućnosti kompanije da proizvodi bolje ili lošije proizvode u odnosu na konkurenciju (metrike koje se tiču kvaliteta) – **bolje**;
- operativne performanse koje se tiču mogućnosti kompanije da bude brža ili sporija u odnosu na konkurenciju (metrike vezane za vreme i fleksibilnost) – **brže**; i
- operativne performanse koje se tiču mogućnosti kompanije da proizvode proizvode sa manjim ili većim troškovima u odnosu na konkurenciju (metrike koje se tiču troškova) – **jeftinije**.

Pored navedene tri kategorije, Hill (2012) predlaže i četvrtu, kojoj daje naziv **jače**, a koja se pre svega odnosi na upravljanje rizikom i strateškim pitanjima kompanije. Enciklopedia dalje detaljno razrađuje pojedinačne metrike koje se mogu naći u svakoj od pomenutih kategorija na sledeći način (Hill, 2012):

- **Bolje** – **Metrike vezane za performanse proizvoda** (autor navodi da ove metrike zavise od specifičnosti svakog proizvoda, pa je tako za automobil bitno koliko troši litara benzina na 100 kilometara pređenog puta, ili koliko mu vremena treba da razvije brzinu od 0 do 100 kilometara na čas); **Metrike vezane za zadovoljstvo i lojalnost korisnika** (na primer, zadovoljstvo korisnika, procenat korisnika povratnika, želja korisnika da preporuče kompaniju drugim korisnicima, lojalnost korisnika, i slično); **Metrike sposobnosti i učinka procesa, metrike kvaliteta** (sposobnost procesa, sigma metrike, procenat neusaglašenih proizvoda, i slično); **Metrike vezane za uslugu korisniku** (vreme reagovanja na zahtev korisnika, procenat neispunjenih porudžbina, procenat isporuka koje su obavljene na vreme, i slično);
- **Brže** – **Vremenske metrike** (vreme ciklusa, protočno vreme, vreme između otkaza, i slično); **Metrike vezane za brzinu učenja** (brzina učenja, kriva učenja, procenat poboljšanja, i slično); **Metrike vezane za Teoriju ograničenja** (vrednost zaliha po danu, vrednost protoka po danu, ukupan protok, i slično); **Lin metrike** (odnos aktivnosti koje dodaju vrednost i aktivnosti koje ne dodaju vrednost, efektivnost proizvodnog ciklusa, i slično);
- **Jeftinije** – **Metrike u vezi sa zaliham** (obrt zaliha, period držanja zaliha, troškovi držanja zaliha, i slično); **Metrike u vezi sa greškama u predviđanju** (srednja procentualna greška u predviđanju, srednja apsolutna greška u predviđanju, i slično); **Metrike u vezi sa opremom** (stepen iskorišćenja kapaciteta, raspoloživost opreme, totalno produktivno održavanje (OEE), i slično); **Tradicionalne računovodstvene metrike** (ukupna prodaja, ukupna marža, efikasnost rada, i slično); **Metrike u vezi sa skladištem** (stepen iskorišćenja prostora, preciznost u vođenju zaliha, i slično); **Metrike u vezi sa transportom** (troškovi transporta po jedinici proizvoda, prosečno vreme provedeno u tranzitu, stepen iskorišćenja (popunjenosti) transportnih sredstava, i slično);

- **Jače** – **Metrike usaglašenosti sa strategijom kompanije** (razlike između postavljenih i ostvarenih strateških ciljeva); **Metrike procene rizika** (očekivani gubitak, verovatnoća otkaza, FMEA); **Metrike u vezi sa bezbednošću** (broj dana od poslednje povrede, broj ozbiljnih povreda u određenom vremenskom periodu, broj nezgoda koje su izbegnute, i slično); **Metrike trostrukog kriterijuma** (ekonomske, socijalne i ekološke metrike).

Autor navodi da se lin metrike mogu svrstati u bilo koju od prve tri kategorije, s obzirom da lin pristup smanjuje defekte (bolje), skraćuje vreme ciklusa i protočno vreme (brže) i eliminiše rasipanja (jeftinije) (Hill, 2012). Naravno, postoje i druge metrike koje bi mogle da se razvrstaju na više načina u prikazane kategorije.

Hill (1993) predlaže još jedan način na koji bi mogle da se razvrstaju operativne performanse. Autor predlaže dve kategorije (Hill, 1993):

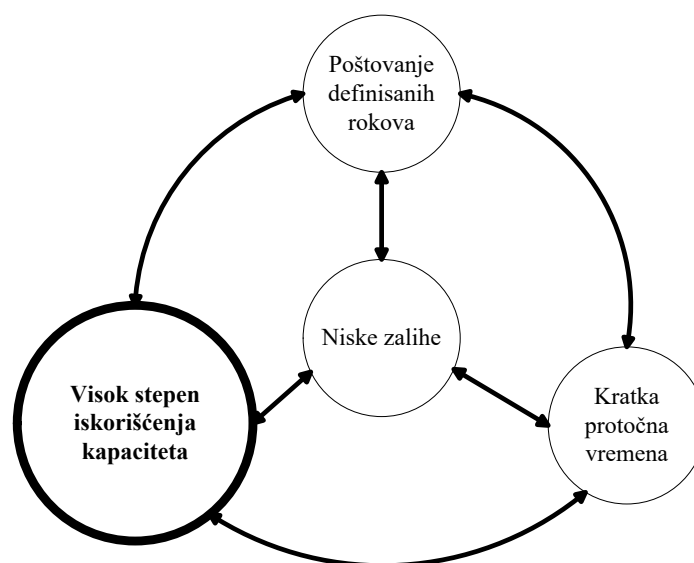
- Kvalifikujuće performanse – neophodne kako bi se dospelo na listu (i ostalo na listi) potencijalnih dobavljača određenog klijenta; dobre kvalifikujuće performanse omogućavaju kompaniji da se nadmeće za određeni posao;
- Opređujuće performanse – performanse koje daju prednost određenoj kompaniji u odnosu na druge proizvođače koji se nalaze na listi potencijalnih dobavljača određenog klijenta; određeni nivo kvalifikujućih performansi garantuje da kompanija može da zadovolji određene potrebe korisnika, dok određeni nivo opređujućih performansi garantuje da određena kompanija identifikovane potrebe korisnika može da zadovolji na način koji je bolji u odnosu na konkurenciju.

Kvalifikujuće performanse su karakteristike konkurentnosti koje kompanija mora da poseduje kako bi mogla da nastupa na tržištu. Na primer, kompanija može da odluči da se na tržištu ne nadmeće cenom, ali da bi kupci uopšte uzeli u razmatranje njenu ponudu, cena njenih proizvoda mora biti u okviru određenih granica. Opređujuće performanse obezbeđuju da kupac da prednost proizvodnu određene kompanije u odnosu na druge proizvode na tržištu. Opređujuće performanse se biraju iz skupa kvalifikujućih performansi (obično jedna ili dve) kod kojih kompanija želi da ostvari rezultate koji su značajno bolji od konkurencije.

Skup i važnost kvalifikujućih i opredeljujućih performansi je dinamička stvar koja u mnogome zavisi od tržišta na kojem kompanija posluje. Određivanje optimalne kombinacije kvalifikujućih i opredeljujućih performansi zahteva, pre svega, dobro poznavanje tržišta na kojem kompanija posluje. Identifikacija kvalifikujućih i opredeljujućih performansi, kao i pronalaženje njihovog balansa, predstavlja važnu stratešku odluku koju menadžment kompanije treba da donese.

6.1.2 Protočno vreme i pouzdanost isporuke kao operativne performanse

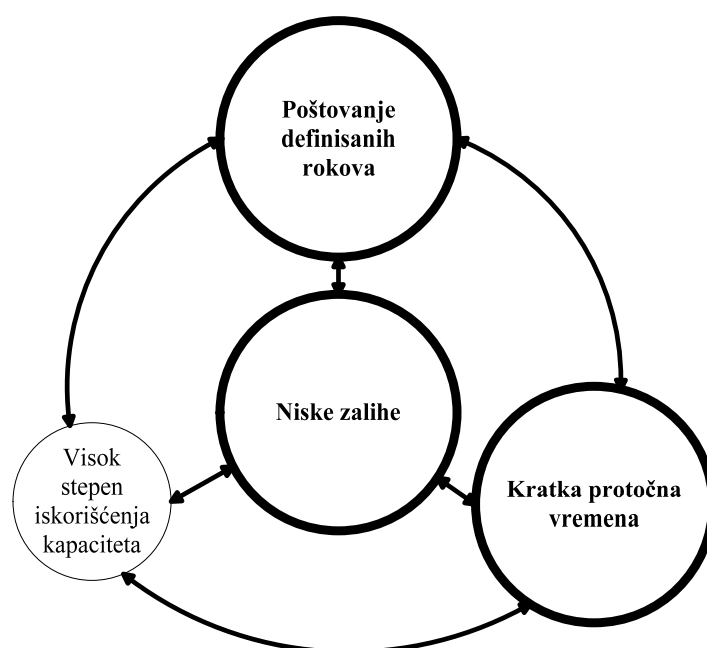
Stepen korišćenja kapaciteta se tradicionalno koristi kao jedan od pokazatelja uspešnosti proizvodnje. Stepenn korišćenja kapaciteta se može prikazati na nekoliko načina. Enciklopedia operacionog menadžmenta (Hill, 2012) stepen korišćenja kapaciteta definiše kao procenat raspoloživog vremena koji je neki resurs proveo zaista radeći. To je jedan od fundamentalnih koncepata operacionog menadžmenta, upravljanja kapacitetima i teorije redova čekanja, i jedan je od tri elementa neophodnih da se izračuna ukupna efektivnost opreme (*eng. Overall Equipment Effectiveness – OEE*). Proizvodnja se smatrala uspešnom ukoliko je stepen iskorišćenja (i opreme i ljudi) visok, dok se drugim parametrima proizvodnje pridavao manji značaj (Plossl, 1985). Nekada preovlađujući ciljevi proizvodnje su prikazani na Slici 32, gde je stepen korišćenja kapaciteta igrao dominantnu ulogu.



Slika 32. Tradicionalni ciljevi proizvodnje (Wiendahl, 1995)

Na slici je prikazan relativni značaj visokog stepena korišćenja kapaciteta u odnosu na druge parametre proizvodnje, kao što su kratka protočna vremena, nivo zaliha (materijala, gotovih proizvoda, i zaliha nedovršene proizvodnje) i poštovanje definisanih rokova. Menadžeri često teže maksimizaciji stepena korišćenja kapaciteta kako bi amortizovali fiksne troškove kroz veći broj proizvedenih jedinica. Međutim, ovako definisana strategija može doneti mnogo problema, s obzirom da visok stepen korišćenja kapaciteta može dovesti do visokog nivoa zaliha, dugačkih protočnih vremena u proizvodnji i loše usluge korisnicima (Hill, 2012).

U novijem periodu je došlo do promene prioriteta u ostvarivanju ciljeva proizvodnje, i veći akcenat se stavlja na parametre kao što su brzina i pouzdanost u isporuci gotovih proizvoda korisnicima (u smislu poštovanja definisanih rokova, i minimizacije eventualnog kašnjenja) (Wiendahl, 1995). U skladu sa tim, i šematski prikaz ciljeva se menja. Novi odnos ciljeva proizvodnje je prikazan na Slici 33.



Slika 33. Savremeni ciljevi proizvodnje (Wiendahl, 1995)

Ne može se reći da je stepen iskorišćenja kapaciteta postao irelevantan pokazatelj uspešnosti proizvodnje. Međutim, može se primetiti da mu je značaj manji nego ranije. Shingo (1989) smatra da je stepen iskorišćenja kapaciteta manje važan od niskih troškova (u knjizi, autor navodi da je stepen iskorišćenja kapaciteta u Tojoti oko 40%).

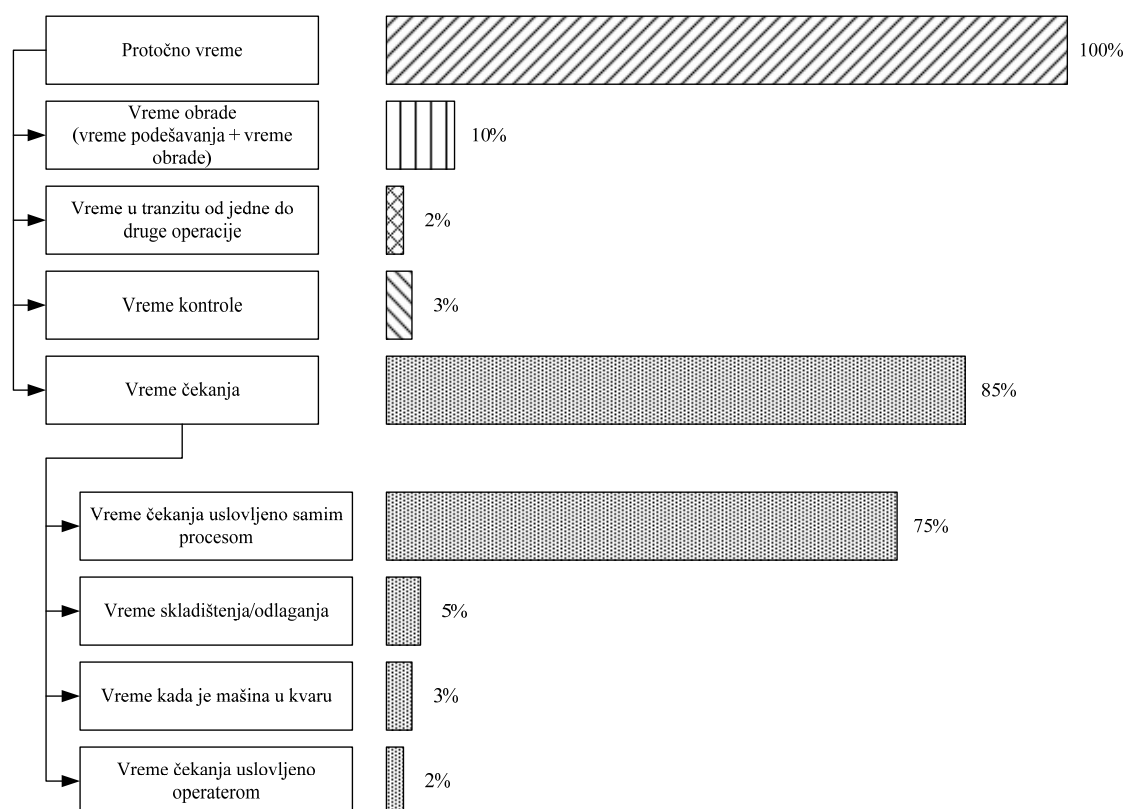
Tojota je niske troškove postigla, između ostalog, korišćenjem univerzalnih mašina i ljudi koji su opsluživali nekoliko mašina. Pored toga, Shingo (1989) kaže kako su troškovi mašina, posmatrano u dužem vremenskom periodu, manji u odnosu na troškove radne snage, pa ističe iskorišćenje radnika kao značajnije nego iskorišćenje mašina. Shingo (1989) navodi da je mnogo važnije obezbediti vremensko iskorišćenje mašine, koje predstavlja broj pogonskih sati u odnosu na ukupan broj raspoloživih sati u jednom danu, odnosno onaj deo vremena u toku jednog dana u kojem je mašina raspoloživa za rad (bez obzira da li će se u tom periodu raditi ili ne) nego visok stepen iskorišćenja kapaciteta. Stepenn iskorišćenja kapaciteta je, pre svega, interno okrenut pokazatelj, s obzirom da je značajan za samu kompaniju, dok korisnicima daje malo upotrebljivih informacija. Stepenn iskorišćenja kapaciteta može biti izrazito velik, a da korisnik od toga ne oseti nikakvu korist.

Imajući u vidu novu paradigmu merenja performansi proizvodnje, koja je prikazana na Slici 33, u nastavku teksta će posebna pažnja biti posvećena protočnom vremenu i pouzdanosti isporuke, njihovom međusobnom odnosu, kao i odnosu ta dva pokazatelja i značaju koji mogu imati za nerepetitivne proizvodne sisteme.

6.1.2.1 Protočno vreme

Protočno vreme je vreme koje protekne između inicijacije nekog procesa i njegovog završetka. Protočno vreme može biti planska kategorija, u smislu željenog protočnog vremena, a može predstavljati i ostvareno protočno vreme, koje predstavlja izmereno vreme od početka do završetka obrade određene porudžbine. Planirano i ostvareno protočno vreme mogu, a ne moraju, biti jednaki. Planirano protočno vreme je konstanta, dok je ostvareno protočno vreme slučajna promenljiva koja ima svoju minimalnu vrednost, svoju maksimalnu vrednost, svoju srednju vrednost, standardnu devijaciju, medijanu i tako dalje. Pored planiranog i ostvarenog protočnog vremena, mogu se pojaviti i kategorije kao što su obećano protočno vreme za korisnika (vreme koje je obećano korisniku da će čekati na isporuku proizvoda) i ostvareno protočno vreme za korisnika (vreme koje je korisnik zaista čekao na isporuku proizvoda). Sve četiri kategorije se mogu međusobno razlikovati. Kako bi se izbegla zabuna, veoma je važno precizno definisati šta se smatra protočnim vremenom. U doktorskoj disertaciji će se pod protočnim vremenom podrazumevati ostvareno (izmereno) protočno vreme.

Wiendahl (1995) smatra da je planiranje, merenje i praćenje protočnog vremena jedan od glavnih zadataka menadžera u proizvodnji. Međutim, autor navodi kako kontinuirano (ili čak periodično) merenje protočnog vremena nije uobičajena praksa, i da se merenje protočnog vremena obavlja obično za potrebe istraživačkih studija ili rešavanja konkretnih problema. Tully (1963) je sproveo pionirska istraživanja u merenju i analizi protočnih vremena u jednoj fabrici, i došao je do rezultata da od 90 do 95% protočnog vremena otpada na razna čekanja, dok od 5 do 10% protočnog vremena otpada na stvarno vreme obrade. Autor navodi da rezultati nisu zadovoljavajući (kao i da su delimično uslovljeni tipom proizvodnje u kojoj su merena protočna vremena), i da se posebna pažnja mora posvetiti fenomenu protočnog vremena. Stommel & Kunz (1973) su sprovedi detaljniju studiju, koja je obuhvatila nekoliko proizvodnih kompanija, i kao rezultat istraživanja predstavili dijagram koji daje strukturu protočnog vremena sa malo više detalja. Struktura protočnog vremena koju su predstavili Stommel & Kunz je data na Slici 34.



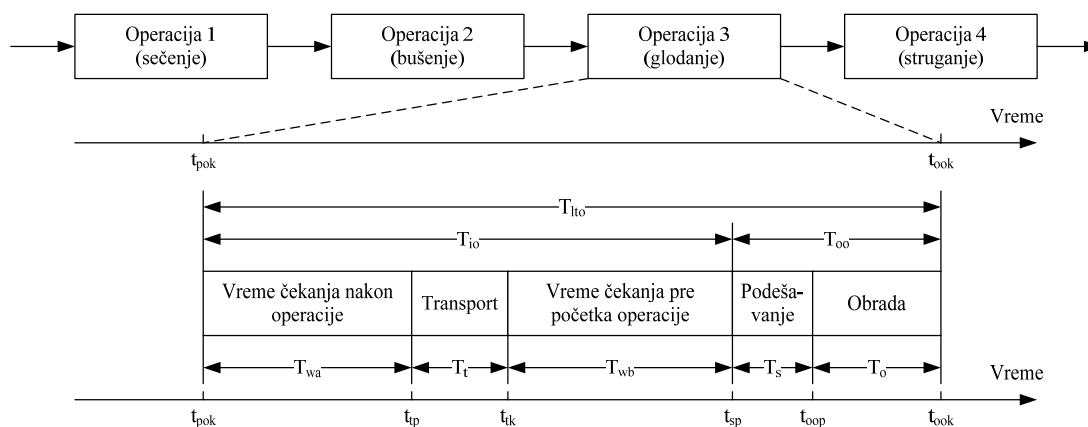
Slika 34. Struktura protočnog vremena (Stommel & Kunz, 1973)

Sa Slike 34 se može videti da su potvrđeni rezultati istraživanja koje je sproveo Tully. Wiendahl (1995) smatra da je ponuđena struktura protočnog vremena u velikoj meri validna i danas, i da na vreme obrade otpada ispod 10% ukupnog protočnog vremena. Posledično, autor smatra da zbog toga mere za skraćenje protočnog vremena moraju biti usmerene pre svega na smanjenje vremena čekanja na samu obradu (Wiendahl, 1995).

Ukupno protočno vreme za neku porudžbinu predstavlja sumu protočnih vremena za svaki korak koji se izvršava na posmatranoj porudžbini. Imajući u vidu prethodna istraživanja (struktura prikazana na Slici 35), za protočno vreme za jednu operaciju, kao i u slučaju ukupnog protočnog vremena, se mogu prepoznati sledeće komponente:

- vreme čekanja pre početka operacije;
- vreme podešavanja mašine/izmene alata (u zavisnosti od situacije, ovo vreme se nekada može i zanemariti);
- vreme potrebno za obradu;
- vreme čekanja nakon operacije;
- vreme transporta do naredne operacije (i ovo vreme se, u zavisnosti od situacije, nekada može zanemariti).

Zbir vremena čekanja pre početka operacije i nakon operacije i vremena transporta do naredne operacije se često naziva međuoperacijsko vreme, dok se suma vremena podešavanja mašine/izmene alata i vremena potrebnog za obradu naziva vreme operacije. Grafička interpretacija protočnog vremena jedne operacije je prikazana na Slici 35.



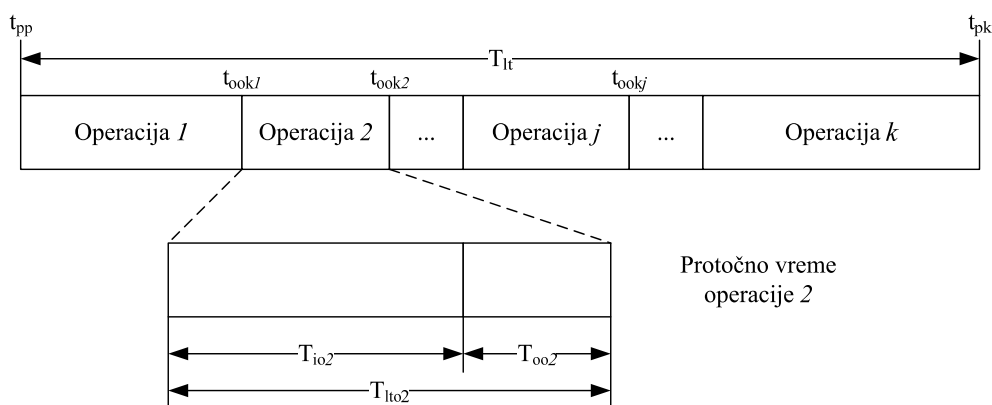
Slika 35. Protočno vreme jedne za jednu operaciju (prilagođeno iz Wiendahl, 1995)

Oznake i elementi protočnog vremena jedne operacije koji su korišćene na Slici 35 su opisane u Tabeli 32.

Tabela 32. Oznake i elementi korišćeni u prikazivanju protočnog vremena jedne operacije

Oznake		Elementi protočnog vremena	
t_{pok}	kraj prethodne operacije	$T_{lt} = t_{ook} - t_{pok}$	protočno vreme
t_{tp}	početak transporta	$T_{io} = t_{sp} - t_{pok}$	međuooperacijsko vreme
t_{tk}	kraj transporta	$T_{oo} = t_{ook} - t_{sp}$	vreme operacije
t_{sp}	početak podešavanja	$T_o = t_{ook} - t_{oop}$	vreme obrade
t_{oop}	početak posmatrane operacije	$T_s = t_{oop} - t_{sp}$	vreme podešavanja
t_{ook}	kraj posmatrane operacije	$T_{wb} = t_{sp} - t_{tk}$	vr. čekanja pre početka oper.
		$T_t = t_{tk} - t_{tp}$	vreme transporta
		$T_{wa} = t_{tp} - t_{pok}$	vr. čekanja nakon preth. oper.

Protočno vreme za jedan proizvod (ili posao u celini, ukoliko se posao sastoji od proizvodnje određene količine proizvoda) predstavlja vreme koje protekne od momenta puštanja proizvoda/posla u proizvodnju do trenutka kada su sve operacije na tom proizvodu/poslu završene. Protočno vreme za jedan proizvod/posao predstavlja sumu svih protočnih vremena operacija koje se izvršavaju na posmatranom proizvodu/poslu. Treba napomenuti da se ovde radi o proizvodnom protočnom vremenu. Prikaz strukture protočnog vremena proizvoda/posla je dat na Slici 36.



Slika 36. Protočno vreme proizvoda/posla (prilagođeno iz Wiendahl, 1995)

Početak izrade jednog proizvoda/posla je obeležen kao t_{pp} , dok je kraj izrade jednog proizvoda/posla obeležen sa t_{pk} . Protočno vreme proizvoda/posla je obeleženo sa T_{lt} . Imajući u vidu strukturu protočnog vremena proizvoda/posla, trajanje protočnog

vremena porudžbine se može izračunati na dva načina. Prema prvom načinu, protočno vreme proizvoda/posla iznosi:

$$T_{lt} = t_{pk} - t_{pp}$$

gde t_{pk} predstavlja kraj obrade proizvoda/posla, dok t_{pp} predstavlja početak izrade proizvoda/posla. Trajanje protočnog vremena se može izračunati i na sledeći način:

$$T_{lt} = \sum_{j=1}^k T_{ltoj}$$

gde T_{ltoj} predstavlja protočno vreme j -te operacije.

Treba još jednom napomenuti da se ovde radi o izmerenom proizvodnom protočnom vremenu. U zavisnosti od situacije, na izmereno proizvodno protočno vreme se mogu dodati još neki elementi, kao što su vreme nabavke sirovina ili vreme projektovanja novog proizvoda (ukoliko kompanija koristi strategiju projektovanja po porudžbini). Kada govorimo o protočnom vremenu kao planskoj kategoriji, ono može da sadrži i deo vremena koji se dodaje na prosečno izmereno protočno vreme, kako bi se kompenzovala situacije u kojima je stvarno protočno vreme duže od prosečnog.

U nerepetitivnoj proizvodnji (proizvodnja po porudžbini i projektovanje po porudžbini), protočno vreme igra značajnu ulogu, s obzirom da ono u velikoj meri određuje vreme isporuke. Kod ovakvog načina proizvodnje, protočno vreme predstavlja donju granicu vremena isporuke, odnosno vremena porudžbine. I ovde je značajno napraviti razliku između protočnog vremena porudžbine kao planske kategorije, i izmerenog protočnog vremena. Protočno vreme kao planska kategorija može da se javi u vidu traženog protočnog vremena (protočno vreme koje zahteva korisnik) i usaglašenog protočnog vremena (protočno vreme na koje se isporučilac obavezuje, a koje je dogovoreno između isporučioca i korisnika). I kod analize izmerenog protočnog vremena se mogu pronaći izvesne razlike, pa se tako izmereno protočno vreme može naći u vidu stvarnog protočnog vremena (period vremena koji protekne od prijema porudžbine do trenutka isporuke gotovih proizvoda) i potvrđenog protočnog vremena (vreme od trenutka kada je korisnik poručio proizvode do trenutka kada je potvrdio prijem gotovih proizvoda). Protočno vreme porudžbine predstavlja vreme od prijema porudžbine korisnika do

momenta kada su proizvodi isporučeni (Gunasekaran et al., 2001). U najboljem slučaju (postoji projekat za proizvod koji je poručen, sav materijal koji je neophodan je raspoloživ, nepredviđene situacije se ne javljaju) protočno vreme porudžbine je jednako proizvodnom protočnom vremenu. U praksi se ova dva protočna vremena često razlikuju.

U praksi se često izmerena protočna vremena evaluiraju tako što se klasifikuju, utvrđuje se distribucija frekvencija, kao i značajni statistički podaci. Jedan od osnovnih statističkih podataka za izmerena protočna vremena je srednja vrednost protočnog vremena. Srednja vrednost protočnog vremena se može izračunati na sledeći način:

$$\overline{T_{lt}} = \frac{T_{lt1} + T_{lt2} + \dots + T_{ltn}}{n}$$

$$\overline{T_{lt}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{lti}}{n}$$

$$\overline{T_{lt}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} T_{ltij}}{n}$$

Gde je:

$\overline{T_{lt}}$ - srednja vrednost protočnog vremena [vrem. jed.];

T_{lti} – protočno vreme posla i [vrem. jed.];

T_{ltij} – protočno vreme operacije j na poslu i [vrem. jed.];

k_i – broj operacija na poslu i [1];

n – broj poslova za koje je mereno protočno vreme [1].

Dva značajna parametra koja se koriste u statističkoj analizi protočnog vremena su standardna devijacija protočnog vremena i koeficijent varijacije protočnog vremena. Standardna devijacija predstavlja meru disperzije u osnovnom skupu, i govori koliko u proseku elementi skupa odstupaju od aritmetičke sredine skupa. Po definiciji,

standardna devijacija (najčešće se obeležava grčkim slovom σ) se izračunava na sledeći način:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}$$

Gde je:

$\bar{X}$ - aritmetička sredina uzorka;

X_i – i -ti član uzorka;

n – broj elemenata u uzorku.

Ukoliko standardnu devijaciju protočnog vremena obeležimo sa σT_{lt} , a imajući u vidu izraz za izračunavanje srednje vrednosti protočnog vremena, kao i izraz za izračunavanje standardne devijacije, izraz za izračunavanje standardne devijacije protočnog vremena se može zapisati na sledeći način:

$$\sigma T_{lt} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{T}_{lt} - T_{lti})^2}$$

Gde je:

$\bar{T}_{lt}$ - srednja vrednost protočnog vremena [vrem. jed.];

T_{lti} – protočno vreme posla i [vrem. jed.];

n – broj poslova za koje je mereno protočno vreme [1].

Treća značajna veličina u analizi protočnih vremena je koeficijent varijacije protočnog vremena. Koeficijent varijacije predstavlja meru disperzije distribucije frekvencije. U statistici se obeležava sa c_v , i predstavlja odnos standardne devijacije i aritmetičke sredine. Može se zapisati na sledeći način:

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

Ako koeficijent varijacije protočnog vremena obeležimo sa VT_{lt} , izraz za izračunavanje koeficijenta varijacije protočnog vremena možemo zapisati na sledeći način:

$$VT_{lt} = \frac{\sigma T_{lt}}{T_{lt}}$$

Protočno vreme može imati značajan uticaj na druge operativne performanse. Na primer, što je disperzija skupa izmerenih protočnih vremena veća, to je manja pouzdanost u isporuci gotovih proizvoda i poštovanju definisanih rokova (Lödding, 2013). Pored toga, značajno je analizirati vezu između protočnog vremena, stepena korišćenja kapaciteta i nivoa zaliha nedovršene proizvodnje. Dodatna analiza protočnog vremena i njegove veze sa drugim operativnim performansama će biti izneta kasnije u doktorskoj disertaciji. Protočno vreme može uticati i na kvalitet proizvoda, odnosno na procenat porudžbina koje su vraćene zbog neodgovarajućih karakteristika proizvoda. Lödding (2013) kao primer navodi elektronsku industriju, gde duga protočna vremena mogu dovesti do veće izloženosti proizvoda česticama prašine, što može dovesti do neispravnosti komponenti.

6.1.2.2 Pouzdanost isporuke

Pouzdanost isporuke se može posmatrati na nekoliko načina. U ovoj doktorskoj disertaciji pouzdanost isporuke će se posmatrati kroz dva parametra:

- poštovanje definisanih rokova isporuke (isporuka na vreme ili pouzdanost isporuke u užem smislu; procenat poslova koji je završen u okviru definisanih rokova; cilj je da ovaj procenat bude što veći); i
- vreme kašnjenja (za porudžbine za koje je probijen definisani rok; zahtev korisnika je da ovo vreme ne postoji, a ukoliko postoji da bude što kraće).

Pouzdanost isporuke se u slučajevima kada se tražnja zadovoljava sa skladišta često poistovećuje sa nivoom usluge (*eng. service level*), koja predstavlja stepen do kojeg određena kompanija zadovoljava zahteve korisnika (pre svega sa aspekta pravovremene isporuke proizvoda), odnosno verovatnoću da kompanija uspešno može da zadovolji potrebe korisnika. Hill (2012) navodi da se nivo usluge može koristiti i u kompanijama koje tražnju zadovoljavaju po porudžbini, ali da se taj parametar posmatra i računa

drugačije u odnosu na kompanije koje tražnju zadovoljavaju sa skladišta. Autor smatra da nivo usluga u kompanijama koje tražnju zadovoljavaju po porudžbini računa kao procenat porudžbina koje su ispunjene na vreme (Hill, 2012). Ovo zapravo predstavlja isporuku na vreme, odnosno poštovanje definisanih rokova. Smatra se da je isporuka obavljena na vreme (odnosno da su rokovi ispoštovani) ukoliko su proizvodi koje je korisnik kupio isporučeni u okviru rokova koji su obećani.

Vreme kašnjenja u isporuci označava razliku između stvarnog datuma isporuke i planiranog datuma isporuke. Vreme kašnjenja u isporuci se može zapisati na sledeći način:

$$\text{KAŠNJENJE} = \text{DATUM ISPORUKE}_{\text{ostvareno}} - \text{DATUM ISPORUKE}_{\text{planirano}}$$

Neki autori smatraju da kašnjenje treba računati u odnosu na traženi (od strane korisnika) datum isporuke, s obzirom da planirani datum isporuke ne mora da bude u saglasju za zahtevima korisnika. Posmatrajući gornji izraz, može se primetiti da kašnjenje može biti pozitivno i negativno. Pozitivno kašnjenje se javlja u slučaju kada je porudžbina isporučena nakon dogovorenog roka, dok se negativno kašnjenje javlja u slučaju kada je porudžbina isporučena pre definisanog roka. I dok pozitivno kašnjenje uvek ima negativan kontekst, negativno kašnjenje može imati i negativan i pozitivan kontekst, u zavisnosti od situacije.

Pouzdanost isporuke se može predstaviti na nekoliko načina. Pouzdanost isporuke se najčešće odnosi na procenat porudžbina koje su isporučene u okviru definisanih granica tolerancije, i može se zapisati na sledeći način:

$$\text{POISP} = \frac{\text{BROJ PORUDŽBINA sa } \text{KAŠNJENJE}_{\text{dg}} \leq \text{KAŠNJENJE} \leq \text{KAŠNJENJE}_{\text{gg}}}{\text{BROJ PORUDŽBINA}} * 100$$

Gde je:

POISP – pouzdanost isporuke [%];

$\text{KAŠNJENJE}_{\text{dg}}$ – donja granica dozvoljenog kašnjenja [vrem. jed.];

$\text{KAŠNJENJE}_{\text{gg}}$ – gornja granica dozvoljenog kašnjenja [vrem. jed.].

Postoje i dva specijalna tipa pouzdanosti isporuke: (i) usaglašenosti isporuke (ili isporuka u vreme – USISP); i (ii) isporuka tačno na vreme (ISPTNV). Usaglašenost isporuke označava procenat porudžbina koje su isporučene tačno na vreme, ili ranije u odnosu na definisani rok, i zapisuje se na sledeći način:

$$USISP = \frac{\text{BROJ PORUDŽBINA sa KAŠNJENJE} \leq 0}{\text{BROJ PORUDŽBINA}} * 100$$

Usaglašenost isporuke, dakle, predstavlja procenat porudžbina koje će korisniku biti na raspolaganju do datuma koji je dogovoren (Lödding, 2013). Isporuka tačno na vreme predstavlja procenat porudžbina koje su isporučene tačno onog datuma koji je dogovoren između proizvođača i korisnika, i zapisuje se na sledeći način:

$$ISPTNV = \frac{\text{BROJ PORUDŽBINA sa KAŠNJENJE}=0}{\text{BROJ PORUDŽBINA}} * 100$$

Osnovna razlika između prethodna dva specijalna tipa pouzdanosti isporuke je ta što prvi tip (usaglašenost isporuke) dozvoljava negativno kašnjenje, dok drugi tip (isporuka tačno na vreme) ne dozvoljava ni pozitivno ni negativno kašnjenje. Koji će tip pouzdanosti isporuke biti korišćen zavisi od situacije, odnosno od toga da li je korisnik spreman da prihvati isporuku ranije ili ne.

Pouzdanost isporuke se može poboljšati na dva načina (Hill, 2012):

- tako što će se obećavati duži rokovi isporuke, koji će uključivati i bezbednosno vreme, odnosno bafer (na primer, obećavanje isporuke za tri nedelje, iako postoji realna mogućnost da se porudžbina isporuči za dve nedelje); i
- tako što će smanjiti srednju vrednost i koeficijent varijacije proizvodnog protočnog vremena.

Prva strategija povećanja pouzdanosti isporuke je rizična, s obzirom da može dovesti do toga da korisnici pređu kod konkurenata koji su spremni da ponude kraće rokove isporuke. Druga strategije zahteva upotrebu lin i šest sigma pristupa, koji treba da deluju na smanjenje varijacija u proizvodnim protočnim vremenima.

6.1.3 Veza između protočnog vremena, pouzdanosti isporuke i drugih operativnih performansi

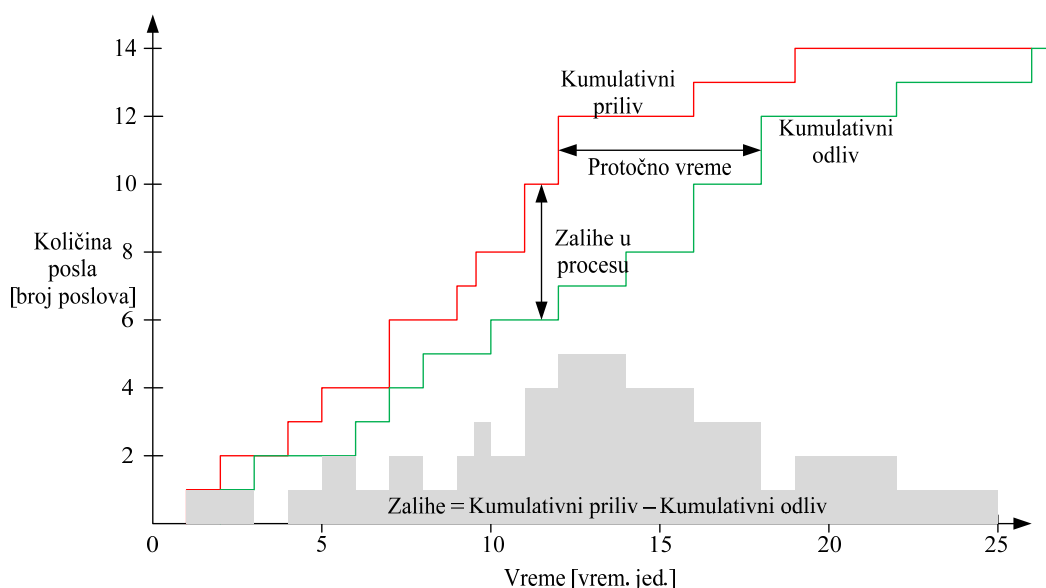
Intuitivno je jasno da je pouzdanost isporuke u direktnoj vezi sa dužinom protočnog vremena. U nastavku doktorske disertacije će detaljno biti obrađena veza između ova dva parametra. Cilj kompanije je da postigne što kraće protočno vreme. Korisniku je takođe u interesu da kompanija ima što kraće protočno vreme, s obzirom da će korisnik u tom slučaju dobiti svoj proizvod u kraćem roku. Kratka protočna vremena olakšavaju planiranje i realizaciju proizvodnje, pa pouzdanost isporuke raste sa skraćivanjem protočnog vremena.

Pored veze između protočnih vremena i pouzdanosti isporuke, značajno je utvrditi i vezu između drugih operativnih performansi, kao što su stepen korišćenja kapaciteta i nivo zaliha nedovršene proizvodnje sa jedne strane, i protočnih vremena i pouzdanosti isporuke sa druge strane. Značaj leži u tome što visok stepen iskorišćenja kapaciteta (što se često postavlja kao jedan od osnovnih ciljeva proizvodnje), kao i visok nivo zaliha, mogu značajno da utiču na povećanje protočnih vremena, i posledično na smanjenje pouzdanosti u isporuci.

6.1.3.1 Dijagram protoka i Little-ov zakon

Jedan od načina za prikazivanje odnosa između protočnog vremena i zaliha nedovršene proizvodnje je dijagram protoka. Dijagram protoka može služiti i za vizeulizaciju Little-ovog zakona, koji opisuje odnos između zaliha nedovršene proizvodnje, protočnog vremena i brzine protoka, odnosno ritma proizvodnje (Little, 1961). Dijagram protoka i Little-ov zakon su se u početku razvijali nezavisno, da bi se kasnije pokazalo da suštinski objašnjavaju istu stvar. Dijagram protoka predstavlja grafički prikaz odnosa protočnog vremena, zaliha i brzine protoka, odnosno ritma proizvodnje, dok Little-ov zakon daje matematičko objašnjenje ove zavisnosti. Na Slici 37 je prikazan dijagram protoka za jedan hipotetički proizvodni proces. Na apscisi su date vremenske jedinice, dok je na ordinati predstavljena količina posla koja dolazi u proces, izlazi iz procesa, ili se trenutno nalazi u procesu proizvodnje. Radi pojednostavljenja, količina posla je predstavljena u broju poslova. Količina posla se može predstaviti i kroz sadržaj posla

izražen u vremenskim jedinicama. Takav način prikazivanja može povećati preciznost dijagrama, s obzirom da se poslovi mogu značajno razlikovati po svom sadržaju.



Slika 37. Dijagram protoka za hipotetički proizvodni proces

Crvena linija predstavlja kumulativni priliv poslova u proces. Dobija se tako što na grafik dodaju poslovi koji ulaze u proces u odnosu na vreme kada su ušli. Na sličan način se dobija i linija koja predstavlja kumulativni odliv poslova iz procesa (zeleno linija). Beleži se količina posla koja je izašla iz procesa u odnosu na vreme u kojem je izašla. Ukoliko bi aproksimirali pravu liniju koja predstavlja nagib izlomljene linije kumulativnog priliva u proces, taj nagib bi predstavljao srednju vrednost brzine priliva novih poslova u proces. Na sličan način bi se mogla predstaviti prava linija koja aproksimira nagib izlomljene linije kumulativnog odliva poslova iz procesa, i taj nagib bi predstavljao srednju vrednost brzine protoka, odnosno ritma proizvodnje (brzina protoka i ritam proizvodnje će u ovoj doktorskoj disertaciji biti korišćeni paralelno). Vertikalno rastojanje između linija kumulativnog priliva i kumulativnog odliva u nekom trenutku T predstavlja nivo zaliha nedovršene proizvodnje u procesu u posmatranom trenutku, dok horizontalno rastojanje između ove dve linije u trenutku T predstavlja protočno vreme za posmatrani proces. Horizontalno rastojanje predstavlja protočno vreme samo u slučaju kada se poslovi izvršavaju po redu pristizanja, odnosno po FIFO principu (*eng. First-In-First-Out*). Kada to nije slučaj, uvodi se novi parametar koji predstavlja raspon vremena koji porudžbina provodi u procesu (*eng. range*), koji može,

a ne mora biti jednak protočnom vremenu (za detaljnije objašnjenje dijagrama protoka i svih parametara koji se na njemu mogu prikazati, videti Wiendahl, 1995; Lödding, 2013). Merenje nivoa zaliha nedovršene proizvodnje i protočnog vremena u specifičnom trenutku nema mnogo smisla, s obzirom da daje podatak koji je validan samo u jednom vremenskom trenutku, i teško ga je koristiti za donošenje nekih opštih zaključaka. Zbog toga se pomenuti parametri najčešće izražavaju preko srednje vrednosti, koja se izračunava za neki duži vremenski period. Dijagram protoka može služiti i za prikazivanje kašnjenja u isporuci, tako što bi se pored izmerenog kumulativnog odliva na dijagram ucrtavao i planirani kumulativni odliv. Kašnjenje bi u tom slučaju predstavljalo razliku između planiranog i izmerenog kumulativnog odliva.

Veza između nivoa zaliha nedovršene proizvodnje, protočnog vremena i brzine, odnosno ritma proizvodnje se može formulisati korišćenjem trigonometrije. Tako imamo da je:

$$\bar{r} = \frac{\overline{WIP}}{\overline{T_{lt}}}$$

odnosno

$$\overline{T_{lt}} = \frac{\overline{WIP}}{\bar{r}}$$

Gde je:

$\overline{WIP}$ - prosečan nivo zaliha nedovršene proizvodnje [broj poslova ili časova rada];

$\bar{r}$ - brzina protoka, odnosno ritam proizvodnje [jed. proiz./vrem. jed. ili časova rada/dan].

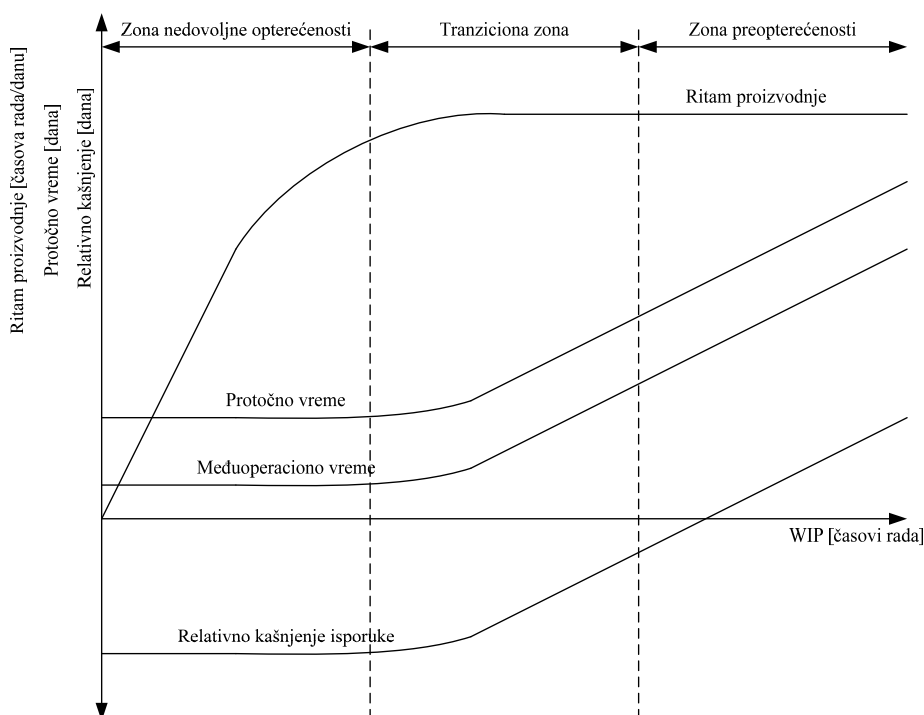
Na sličan način je vezu između protočnog vremena, zaliha nedovršene proizvodnje i brzine protoka, odnosno ritma proizvodnje prikazao i Little (1961), koji je formulisao ono što se danas zove Little'ov zakon na sledeći način:

Dugoročni prosek broja korisnika u stabilnom sistemu je jednak dugoročnom proseku efektivne brzine priliva novih korisnika pomnoženo sa prosečnim vremenom koje korisnik provede u sistemu.

Iako deluje intuitivno jasan i jednostavan, Little-ov zakon ima veliki uticaj na mnoge elemente života (osim odnosa protočnog vremena, brzine protoka i nivoa zaliha nedovršene proizvodnje, Little-ov zakon objašnjava koliko se čekanje očekuje u domu zdravlja, prilikom poziva kol centra, prilikom kupovine karte u zabavnom parku, i slično). Naravno, matematički dokaz Little-ovog zakona je kompleksan (funkcionisanje Little-ovog zakona se na jednostavan način može prikazati stavljanjem u odnos jedinica elemenata formule; treba napomenuti da ovo ne predstavlja matematički dokaz zakona). Posledice Little-ovog zakona su veoma značajne. Na primer, Little-ov zakon pokazuje da veza između protočnih vremena, ritma proizvodnje i nivoa zaliha nedovršene proizvodnje nije uslovljena distribucijom vremena priliva novih poslova, distribucijom vremena obrade poslova, kao ni strukturom sistema u koji poslovi pristižu (Simchi-Levi & Trick, 2011). Ovo praktično znači da je Little-ov zakon jednako primenljiv na jednu mašinu, kao i na proizvodni proces u celini, što znači da se i komplikovani sistemi mogu analizirati posmatrajući samo ova tri pokazatelja.

6.1.3.2 Kriva protoka

Kriva protoka predstavlja još jedan način da se predstavi zavisnost protočnog vremena, nivoa zaliha nedovršene proizvodnje, brzine protoka, odnosno ritma proizvodnje i stepena korišćenja kapaciteta. Osim što omogućava i analizu stepena korišćenja kapaciteta, kriva protoka daje drugačiji pogled na posmatrane performanse, omogućavajući da se analizira ponašanje zavisnih operativnih performansi u odnosu na promenu vrednosti nezavisne operativne performanse. Primer operativne krive je dat na Slici 38. Kao i u slučaju dijagrama protoka i Little-ovog zakon, i kriva protoka se može koristiti za analizu sistema različitog nivoa složenosti, od pojedinačnih radnih centara do celokupnih proizvodnih sistema.



Slika 38. Kriva protoka za hipotetički primer (prilagođeno iz Nyhuis & Wiendahl, 2009)

Mogući nivo zaliha nedovršene proizvodnje je podeljen na tri zone: (i) zonu nedovoljne opterećenosti; (ii) tranzicionu zonu; i (iii) zonu preopterećenosti. Na samom početku, ritem proizvodnje raste proporcionalno sa porastom zaliha nedovršene proizvodnje (zona nedovoljne opterećenosti). Ovo je zbog toga što je nivo zaliha nedovršene proizvodnje manji od raspoloživih kapaciteta procesa, pa obrada svakog posla počinje istog momenta kada uđe u sistem (nema redova čekanja). Posledica funkcionisanja u ovoj zoni je nedovoljna iskorišćenost kapaciteta (razlika između stvarnog ritma proizvodnje i maksimalnog ritma proizvodnje, koji je definisan kapacitetima procesa). Protočno vreme posla praktično predstavlja sumu vremena operacija za specifičan posao. U idealnim situacijama bi međupracijsko vreme bilo nula, ali zbog normalnih varijacija u procesu proizvodnje (nestalan intenzitet rada radnika, razlike u kvalitetu materijala i opreme, podešavanje mašina i slično) u realnim sistemima se javlja međupracijsko vreme koje je vrlo malo (Hopp & Spearman, 2008). Relativno kašnjenje je obično u ovoj zoni negativno, s obzirom da se poslovi završavaju ranije nego što je planirano. Sa porastom nivoa zaliha nedovršene proizvodnje (odnosno količine poslova u sistemu) dolazi do stvaranja redova čekanja ispred radnih centara. U

tranzicionoj zoni ritam proizvodnje raste neznatno, i sve manje kako se nivo zaliha približava zoni preopterećenosti. Kako se pređe u zonu preopterećenosti, ritam proizvodnje prestaje da raste, s obzirom da je dostigao svoj maksimum koji je definisan kapacitetom procesa. Zbog redova čekanja u tranzicionoj zoni rastu međuoperaciona vremena (s obzirom da se javljaju čekanja), a samim tim raste i protočno vreme. Negativnost kašnjenja se smanjuje, a iskorišćenje kapaciteta se bliži maksimumu. Sa prelaskom u zonu preopterećenosti, ritam proizvodnje prestaje da raste, priliv novih poslova nadmašuje kapacitet procesa, redovi rastu, što povećava međuoperaciono vreme, a posledično i protočno vreme. S obzirom na dugačke redove čekanja ispred radnih centara, koji su posledica visokog nivoa zaliha nedovršene proizvodnje u sistemu, postaje sve teže održavati pouzdanost isporuke, pa kašnjenje dobija pozitivni predznak, odnosno veći je broj poslova koji se isporučuju nakon definisanog roka.

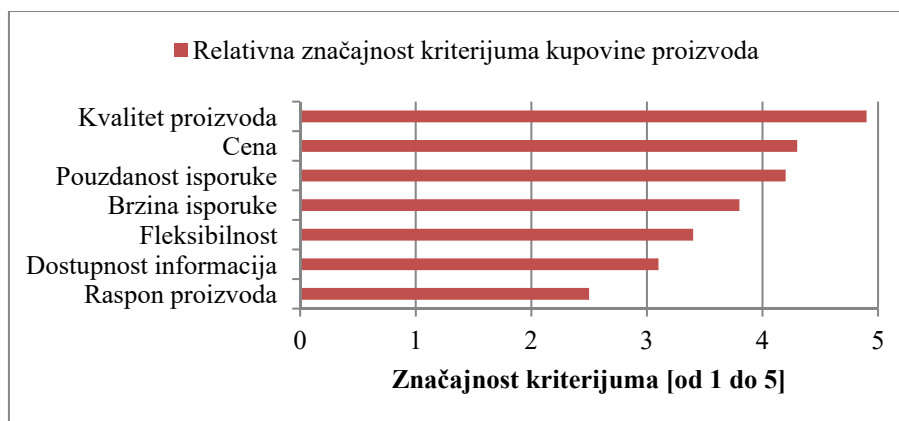
Ponašanje operativnih performansi prikazanih na krivoj protoka ima značajne implikacije za praksu. Naime, nije redak slučaj da se u praksi teži maksimizaciji stepena iskorišćenja kapaciteta tako što će se veliki broj poslova puštati u proizvodnju. Međutim, vidimo da to za posledicu ima dugačka protočna vremena, kao i povećano kašnjenje u isporuci, odnosno nepouzdanu isporuku. Kriva protoka može da pomogne menadžerima da nađu optimalan odnos operativnih performansi kako bi obezbedila pouzdanost isporuke (kroz smanjenje protočnih vremena) i dobru iskorišćenost kapaciteta, ograničavajući količinu posla koja se u određenom trenutku nalazi u sistemu. Pored toga, kriva protoka stavlja u odnos dve grupe operativnih performansi, interne i eksterne, gde su eksterne performanse važne zbog mogućnosti zadovoljenja potreba korisnika, dok su interne performanse važne samoj kompaniji.

6.1.4 Značaj kratkih protočnih vremena i pouzdane isporuke

Amaro et al. (1999) su sprovedi istraživanje u kojem su učestvovala 22 kompanije, gde je jedan od ciljeva bio da se identifikuje šta kompanije prepoznaju kao svoje kvalifikujuće karakteristike, a šta prepoznaju kao opredeljujuće karakteristike. Odgovori su sortirani prema nivou do kojeg kompanije prilagođavaju svoj proizvod specifičnim potrebama kupca (na jednom kraju su kompanije koje ni u kojoj meri ne prilagođavaju proizvod zahtevima kupca, dok su na drugom kraju kompanije koje u potpunosti prilagođavaju proizvod potrebama kupca; između ovih krajnosti su identifikovane još

dve pozicije koje predstavljaju kompanije koje u manjoj ili većoj meri prilagođavaju proizvod potrebama kupca). Kvalitet i cena proizvoda su prepoznati i kao kvalifikujući i kao opredeljujući parametri, dok je veliki broj kompanija koje su učestvovala u istraživanju identifikovao brzinu isporuke (koje je u direktnoj vezi sa kratkim protočnim vremenima) i pouzdanost isporuke kao karakteristike koje obezbeđuju prednost u odnosu na konkurenciju. Rezultati ovog istraživanja su posebno značajni ako se ima u vidu da je najveći broj kompanija koje prilagođavaju karakteristike proizvoda zahtevima kupca (u različitoj meri) prepoznao upravo ove karakteristike kao opredeljujuće. Imajući u vidu karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema, gde je nivo prilagođavanja proizvoda visok, može se zaključiti da nerepetitivni proizvođači prepoznaju kratka protočna vremena i pouzdanost isporuke kao parametre koji obezbeđuju konkurentsku prednost.

Nyhuis & Wiendahl (2009) su na osnovu prethodnih istraživanja formirali prikaz relativne značajnosti (iskazane kroz ocenu od 1 do 5) kriterijuma kupovine proizvoda, koji je dat na Slici 39. Kvalitet proizvoda i cena su tradicionalno visoko pozicionirani. Može se videti da kao kriterijumi slede pouzdanost isporuke i brzina isporuke, čija je relativna značajnost vrlo blizu značajnosti koju ima cena proizvoda.



Slika 39. Prikaz relativne značajnosti kriterijuma kupovine proizvoda (prilagođeno iz Nyhuis & Wiendahl, 2009)

Autori navode da kriterijumi pouzdanosti isporuke i brzine isporuke konstantno dobijaju na značajnosti još od početka 1990-tih godina, i da je cilj menadžmenta da organizuje

tok materijala kroz čitavu proizvodnju na nalin koji će obezbediti reagovanje na zahteve tržišta u najkraćem mogućem vremenu (Nyhuis & Wiendahl, 2009).

Lödding (2013) navodi da je vreme isporuke u direktnoj vezi sa protočnim vremenom, a da protočno vreme zavisi od strategije proizvodnje. Autor navodi da su za nerepetitivne proizvodne sisteme karakteristična duža protočna vremena, što ističe značaj njihovog smanjenja u datim uslovima. Pored toga, autor navodi da su empirijske studije pokazale da kompanije sa kratkim vremenom isporuke i kratkim protočnim vremenom rastu brže i ostvaruju veći profit od kompanija koje imaju duže vreme isporuke i duže protočno vreme. Prednost kratkih protočnih vremena je intuitivno jasna, ali ipak treba pomenuti i konkretne ekonomske koristi koje kompanija može imati od kratkih protočnih vremena, kao što su smanjeni troškovi držanja zaliha, smanjeni rizik od zastarevanja zaliha, veća responzivnost, kraće vreme isporuke, i slično (Lödding, 2013). Kratko protočno vreme, sa druge strane, može da opravda podizanje cene proizvoda, pre svega iz razloga smanjenog korišćenja kapaciteta (kompanija može svesno da smanji korišćenje kapaciteta kako bi obezbedila kraća protočna vremena, a time i bržu isporuku), povećanih administrativnih troškova hitnih porudžbina, troškova kašnjenja „normalnih“ porudžbina (porudžbina koje nisu hitne) i slično. Ovi dodatni troškovi mogu biti značajni, i mogu naneti štetu koja je veća od koristi koje se ostvaruju kratkim protočnim vremenima, pa je zato važno eliminisati ih gde god je to moguće (Lödding, 2013).

Na sličan način Lödding (2013) objašnjava značaj pouzdanosti isporuke, koji se ogleda pre svega kroz poverenje koje se dobija kod korisnika, kroz smanjenje troškova kašnjenja u isporuci, uticaj na pouzdanost isporuke kupca (u širem lancu vrednosti), i slično. Kao i kod protočnog vremena, i pouzdanost isporuke može da u određenim trenucima opravda podizanje cene proizvoda, kako bi se pokrili troškovi povećanja pouzdanosti isporuke. i ovde treba biti pažljiv da nastali troškovi ne zasene koristi koje kompanija dobija pouzdanom isporukom.

Kao što je prikazano ranije u tekstu, kratka protočna vremena su u direktnoj vezi sa pouzdanošću isporuke. Zbog toga je važno da, u cilju obezbeđenja pouzdanosti isporuke, menadžment usmeri svoje napore ka smanjenju protočnih vremena, kao i ka održavanju stabilnosti protočnih vremena. Kao posledicu toga imamo kratko vreme

isporuke, kao i isporuku koja je pouzdana, što uvećava ukupno zadovoljstvo korisnika kupljenim proizvodom.

6.1.5 Rezime i zaključci poglavlja

U ovom delu disertacije je izvršeno istraživanje literature o operativnim performansama proizvodnih sistema, sa posebnim osvrtom na protočno vreme i pouzdanost isporuke kao operativne performanse od posebnog značaja. Na osnovu rezultata istraživanja se može zaključiti sledeće:

- Operativne performanse predstavljaju učinak kompanije koji se meri u odnosu na standardne ili propisane indikatore efektivnosti, efikasnosti ili ekološke odgovornosti;
- Protočno vreme i pouzdanost isporuke predstavljaju operativne performanse koje su od posebnog značaja na nerepetitivne proizvodne sisteme, i mogu predstavljati izvor konkurentske prednosti na tržištu;
- Kratko protočno vreme i pouzdana isporuka omogućavaju nerepetitivnim proizvodnim sistemima da budu brži (kraće protočno vreme) i bolji (veća pouzdanost isporuke) u odnosu na konkurente;
- Protočno vreme i pouzdanost isporuke su u direktnoj vezi, i jedan od načina unapređenja pouzdanosti isporuke je skraćanje protočnog vremena
- Protočno vreme i pouzdanost isporuke predstavljaju operativne performanse koje pokazuju koliko su nerepetitivni proizvodni sistemi uspešni u odnosu na postavljene ciljeve, kao i u odnosu na konkurenciju.

Imajući u vidu rezultate istraživanja i iznesene zaključke, može se potvrditi sledeća pojedinačna hipoteza:

H2.1 Protočno vreme i pouzdanost isporuke su elementi skupa operativnih performansi kompanije.

Skup operativnih performansi može biti velik, i nije ograničen samo na protočno vreme i pouzdanost isporuke. Međutim, protočno vreme i pouzdanost isporuke su kao operativne performanse veoma značajni, posebno za nerepetitivne proizvodne sisteme,

pa je zbog toga značajno analizirati načine na koje se operativne ove operativne performanse mogu unaprediti.

6.2 Unapređenje protočnog vremena i pouzdanosti isporuke u kompaniji ALPHA primenom formalizovanog modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Provera modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema će biti izvršena na dva načina. Prvi način je provera kroz simulaciju, gde će biti analizirani delovi modela koji se tiču principa obezbeđivanja nesmetanog toka stvaranja vrednosti i vučenja proizvodnje. Konkretno, biće istražen uticaj koji stabilizacija procesa, upravljanje baferima i uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje imaju na protočna vremena i pouzdanosti isporuke, gde će ulazni podaci u simulaciju biti modelirani na osnovu realnih podataka iz kompanije ALPHA. Nakon toga će, kroz empirijsko istraživanje, model biti praktično proveren u kompaniji ALPHA, koja predstavlja tipičnog nerepetitivnog proizvođača, gde će se analizirati uticaj primene formalizovanog modela implementacije lin pristupa na protočna vremena i pouzdanost isporuke u jednom nerepetitivnom proizvodnom sistemu.

6.2.1 Opis kompanije ALPHA

Kompanija ALPHA predstavlja tipičnog nerepetitivnog proizvođača, sa visoko prilagođenim proizvodima koji se projektuju i proizvode prema specifičnim zahtevima kupaca. Kompanija se bavi proizvodnjom POS (*eng. Point Of Sale*) i POP (*eng. Point Of Purchase*) proizvoda, kao što su POS police, displeji, kiosk sistemi, dispenceri za prodaju duvanskih proizvoda, displeji, svetleće reklame i slično. Glavni klijenti su kompanije koje posluju u polju proizvodnje robe široke potrošnje, informacionih tehnologija i komunikacija, proizvodnje duvana, proizvodnje farmaceutskih proizvoda i slično. Kompanija se može svrstati u malu kompaniju, i broji oko 50 zaposlenih (broj može da varira u zavisnosti od tražnje, gde se po potrebi angažuju ljudi na povremenim i privremenim poslovima). Na osnovu razgovora sa zaposlenima u kompaniji je konstatovano da je oko 70% proizvoda namenjeno korisnicima na domaćem tržištu, dok

je uvidom u dokumentaciju kompanije utvrđeno da procenat proizvoda koji je namenjen inostranom tržištu raste, i da je za 2014. godinu iznosio oko 40%. Kompanija je ocenjena kao lider na domaćem i regionalnom tržištu.

6.2.2 Stanje u kompaniji ALPHA na početku 2015. godine

U kompaniji postoji „osećaj“ da efikasnost nije na zadovoljavajućem nivou, ali nisu rađene detaljne analize koje bi mogle da egzaktno potvrde ovakav stav. Kod klijenata je prepoznato nezadovoljstvo pre svega nepoštovanjem dogovorenih rokova isporuke, kao i mogućnošću da se na zahteve kupaca odgovori u što je moguće kraćem roku. Pored toga, prisutno je i unutrašnje nezadovoljstvo među menadžmentom i radnicima zbog konstantnog pritiska i problema koji se javljaju na dnevnom nivou. Rešenja problema su privremena, bez sistemskog pristupa identifikaciji i eliminisanju uzroka problema. Tok materijala u proizvodnji je netransparentan i haotičan, što otežava njegovu kontrolu i kao posledicu ima visok nivo zaliha nedovršene proizvodnje. Komunikacija u kompaniji je loša, uz nejasne kanale i uticaj neformalnih grupa. Odgovornost za izvršenje posla je nejasna, što dovodi do toga da niko ne trpi posledice zbog neefikasnosti koje se javljaju. U kompaniji su implementirani neki alati lin pristupa, kao što je preventivno održavanje i 5S, ali nisu ostvareni zadovoljavajući rezultati. Među zaposlenima je raširen stav da alati koji su primenjeni „šminka“, i da predstavljaju sami sebi svrhu. Izostanak rezultata primene je doveo do demotivisanosti zaposlenih da aktivno učestvuju u unapređenju efikasnosti proizvodnje.

U cilju sticanja uvida u stanje u kompaniji pre primene modela implementacije lin pristupa, u kompaniji je organizovano istraživanje koje je uključivalo razgovore sa zaposlenima, posmatranje fabrike i analizu arhivskih podataka kompanije. U cilju obezbeđivanja što potpunije slike posmatrane kompanije, korišćen je metod triangulacije, odnosno kombinovanja više izvora informacija, kako bi se dobila što potpunija slika i što bolji uvid u stanje (Arts & Verschuren, 1999; Blaikie, 1991; Erzberger & Prein, 1997; Farmer et. al, 2006; Jick, 1979; Konecki, 2008; Paul, 1996). Stanje je analizirano kroz karaktersitike i podsisteme proizvodnih sistema koji su prikazani u ranijim poglavljima, odnosno kroz proizvod, tehnički podsistem, socijalni podsistem i organizacioni podsistem.

Proizvod

Kompanija proizvodi proizvode koji su potpuno prilagođeni zahtevima korisnika, gde korisnik najčešće potpuno kontroliše parametre projektovanja proizvoda. Diferencijacija se dešava rano u internom lancu snabdevanja, proizvodi se međusobno razlikuju, a mnogi proizvodi su jedinstveni. Proizvodi mogu biti jednostavni, ili složeni proizvodi koji zahtevaju montažu. Obimi proizvodnje su relativno mali, i kreću se od jednog komada do nekoliko stotina komada. Tražnja za proizvodima je nepredvidiva, i ne može se identifikovati pre nego što se zaista dogodi, što otežava planiranje. Nepredvidivost tražnje dovodi do varijacija u opterećenju, gde se smenjuju periodi visokog i niskog opterećenja. Tipični proizvodi kompanije su prikazani na Slici 40.

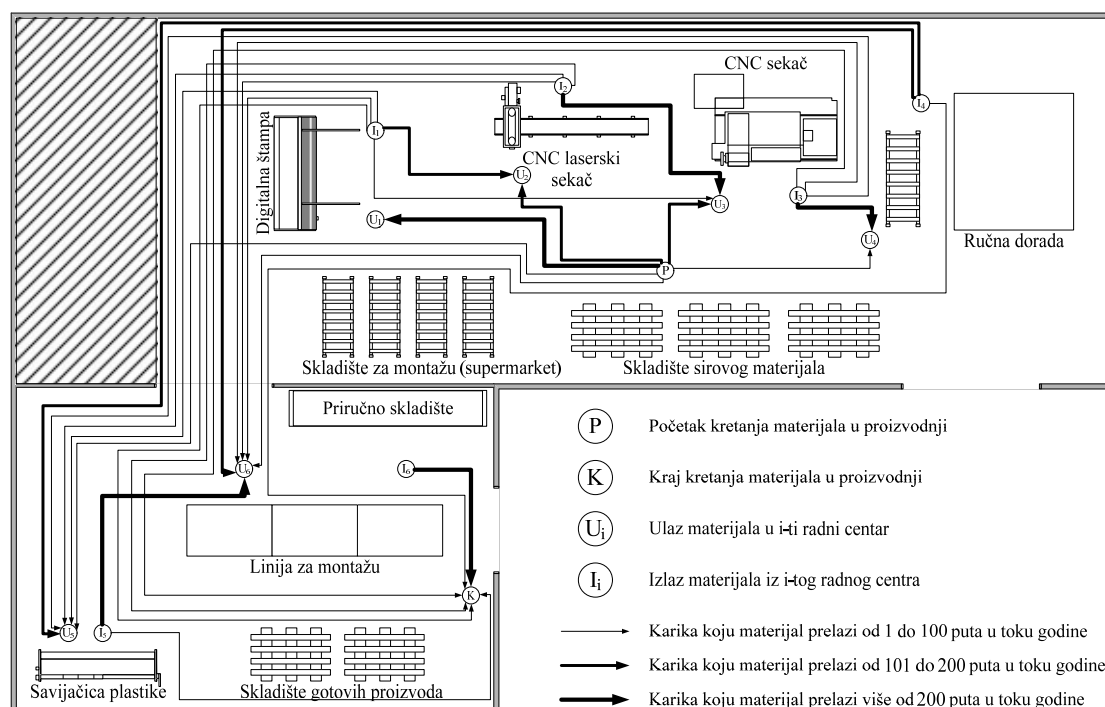


Slika 40. Tipični proizvodi kompanije ALPHA

U kompaniji ovakvu situaciju vide kao otežavajući faktor, i često je koriste kao opravdanje za neefikasnost. Najviše rukovodstvo kao idealno stanje vidi ono u kojem bi se nudio standardni proizvod ili grupa proizvoda. Postoje pokušaji da se tržištu ponude standardni proizvodi. Međutim, uspeh ponude standardnih proizvoda je ograničen, i dominantan način poslovanja ostaje proizvodnja visoko prilagođenih proizvoda koji se proizvode prema zahtevima kupca.

Tehnički podsistem

U kompaniji se koristi univerzalna oprema za proizvodnju, kao što su štampači za digitalnu i sito štampu, numerički kontrolisane mašine i slično. Raspored opreme i prikaz tokova materijala su dati na Slici 41.



Slika 41. Raspored opreme i tokovi materijala kroz proizvodnju

Na slici je prikazan deo proizvodnje u kojem se obrađuju materijali kao što su klirit, foreks, leksan, poli-karbonatne ploče i slično. Proizvodnja najvećeg dela proizvoda se obavlja upravo u ovom delu proizvodnje. Proizvodnja se sastoji iz šest faza: digitalna štampa (1), sečenje na laserskom sekaču (2), sečenje na CNC sekaču (3), ručna dorada (4), savijanje i oplemenjivanje (5) i montaža (6). Sa slike se vidi da tok materijala može biti jednofazni ili višefazni, i da nema povratnih veza. Materijal može da uđe u proizvodnju na bilo kom radnom centru, a gotov proizvod iz proizvodnje može da izađe sa bilo kog radnog centra. Tok materijala je usmeren, i materijal se uvek kreće od radnog centra sa nižim rednim brojem ka radnom centru sa višim rednim brojem. Svaki redosled operacija u usmerenom toku je moguć, ali je analiza pokazala da su dominiraju poslovi koji se sastoje iz pet ili šest operacija (blizu 30% poslova ima redoslede operacija 1-2-3-4-6, 2-3-4-5-6, ili 1-2-3-4-5-6). Tok materijala je prekidano, gde se posao nakon završetka obrade na jednom radnom centru premešta na naredni radni centar, gde čeka dalju obradu. Količina proizvoda koji se odjednom obrađuju je obično jednaka ukupnoj količini proizvoda koju je kupac poručio. Radni centri su raspoređeni jedan blizu drugog, pa je vreme koje materijal provede u transportu može zanemariti.

Različite kombinacije operacija u proizvodnji otežavaju kontrolu toka materijala. Novi radni nalozi se puštaju u proizvodnju istog trenutka kada su spremni, bez analize raspoloživih kapaciteta, što dovodi do zagušenja proizvodnje, posebno u periodima velike tražnje. Posledica zagušenja proizvodnje su dugačka protočna vremena, što dovodi do kašnjenja u isporuci. Kako bi se eliminisalo kašnjenje, novi radni nalozi se još ranije puštaju u proizvodnju, što kao posledicu ima još duža protočna vremena i još veća kašnjenja u isporuci. Zalihe nedovršene proizvodnje se gomilaju, što tok materijala čini sporim i netransparentnim, a u kombinaciji sa dugačkim protočnim vremenima i povećanim kašnjenjem u isporuci pojačava zahteve za dispečiranjem. Pored toga, i tok informacija je netransparentan, sa nedefinisanim putanjama i odgovornostima. Radnici na radnim centrima imaju određeni nivo autonomije u prioritetizaciji izvršenj poslova (na primer, ukoliko procene da će im promena redosleda poslova uštedeti vreme potrebno za podešavanje mašina), što dodatno narušava prirodni tok materijala kroz proizvodnju.

Socijalni podsistem

Radnici u kompaniji imaju čvrsta zaduženja, i najčešće su obučeni za izvođenje operacija u okviru jednog radnog centra. Zadaci su individualni, i rotacija je ograničena, osim u slučaju operacija koje se obavljaju pretežno ručno (ručna dorada i montaža), gde se radnici mogu rotirati u zavisnosti od potreba posla i opterećenja. Iako određene mogućnosti za rotaciju postoje, svaki radnik ima svoju dominantnu poziciju na kojoj radi. Za potrebe montaže se vrši formiranje timova, ali je i tu primetan fokus na individualne zadatke i nedostatak osećaja za zajednički cilj. Ciljevi su fragmentisani, što otežava radnicima da se identifikuju sa integralnim ciljevima kompanije, pa se i uloge zaposlenih posmatraju izolovano. Znanja potrebna za izvođenje operacija nisu sistematizovana, što otežava formalnu obuku radnika. Među iskusnijim radnicima postoji osećaj „ponosa zanatlije“, što otežava deljenje znanja. Radnici nisu opunomoćeni za rešavanje problema, i pri pojavi problema se obično odmah ide na višu instancu, odnosno na direktora proizvodnje, koji preuzima rešavanje problema. Sistem izveštavanja o pojavi i rešavanju problema nije formalizovan, što onemogućava formiranje baze znanja koja će pomoći da se isti problemi u budućnosti spreče ili lakše i

brže rešavaju. To dovodi do toga da se isti problemi često ponavljaju, i rešavaju svaki put kao da se prvi put pojavljuju.

Primetna je velika fluktuacija zaposlenih, najčešće u proizvodnji i inženjeringu. Zaposleni osećaju konstantan pritisak rada u neuređenom sistemu, zbog čega brzo gube interesovanje i napuštaju kompaniju. U kompaniji postoji sistem nagrađivanja, ali nije zasnovan na realnim pokazateljima zalaganja zaposlenih, već predstavlja uravnilovku gde svaki zaposleni u nekom trenutku bude pohvaljen ili nagrađen. Zbog toga je primetan i nedostatak motiva među zaposlenima da aktivno učestvuju u unapređivanju procesa proizvodnje i ukupnog poslovanja kompanije.

Organizacioni podsistem

Dominantna proizvodna strategija u kompaniji ALPHA je projektovanje po porudžbini, gde se proizvod razvija i proizvodi prema zahtevima kupca. Deo proizvoda se proizvodi po porudžbini, gde kupac dolazi sa gotovim dizajnom i dokumentacijom. Odluke se donose autoritativno i na visokom nivou, gde konačnu reč ima generalni direktor firme koji je i vlasnik. Za odluke je često potreban visok nivo detalja, koji se ne agregiraju adekvatno na nižim nivoima, pa se odluke često donose na osnovu intuicije i iskustva nego na osnovu egzaktnih podataka. U kompaniji postoji jaka funkcionalna podela, gde se često ciljevi organizacionih jedinica smatraju suprotstavljenim. Posledica ovoga je težnja ka postizanju lokalnih optimuma, dok je optimizacija čitavog lanca stvaranja vrednosti zanemarena. Vremenski period odlučivanja je izuzetno kratak. Turbulentnost tražnje i različitost proizvoda koji se izrađuju su identifikovani kao prepreka strukturiranom donošenju odluka i aktivnom pristupu upravljanju, pa se često stiče utisak da ne postoje sistemski naponi da se tehnički i socijalni podsistem integrišu u cilju ostvarivanja sinergetskih efekata, već da se organizacioni podsistem sastoji iz niza odluka niskog nivoa čiji je primarni zadatak da ugasi požar koji je trenutno aktuelan.

6.2.3 Analiza mogućnosti unapređenje protočnog vremena i pouzdanosti isporuke u kompaniji ALPHA primenom modela implementacije lin pristupa sistemima kroz simulaciju

U ovom delu će biti analizirane mogućnosti unapređenja protočnog vremena i pouzdanosti isporuke primenom formalizovanog modela implementacije lin pristupa u

kompaniji ALPHA kroz simulaciju. Fokus analize je na delovima modela koji se tiču obezbeđivanja nesmetanog toka stvaranja vrednosti i vučenja proizvodnje, odnosno na koracima koji se tiču stabilizacije procesa, upravljanja baferima i uspostavljanja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje. Cilj simulacije je dvojak:

- da se proverí kako smanjivanje varijacija u procesu proizvodnje, upravljanje baferima i kontrolisano guranje/vučenje proizvodnje utiču na smanjenje protočnog vremena i povećanje pouzdanosti isporuke;
- da se kroz rezultate simulacije kompaniji ALPHA predstaví mogućnosti skraćivanja protočnog vremena i unapređenja pouzdanosti isporuke kroz primenu modela implementacije lin pristupa.

Kako bi se obezbedila opštost rezultata, simulacija je dizajnirana tako da bude što je moguće jednostavnija. Jednostavnošću simulacije se izbegavaju interakcije koje mogu inhibirati puno razumevanje načina na koji eksperimentalni faktori (varijacije u procesu, baferi i sistem kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje) utiču na protočno vreme i pouzdanost isporuke. Time se obezbeđuje generalizacija zaključaka izvedenih iz rezultata simulacije, čime se poboljšava praktična primenljivost rezultata. Pored toga, cilj je da se kompaniji ALPHA predstaví mogućnosti modela u najširem mogućem smislu, dok bi konkretizacija modela nastupila kod same implementacije u kompaniji.

Kako bi se obezbedila što bolja veza sa praktičnim problemima, simulacioni model je razvijen tako da u značajnoj meri odgovara karakteristikama proizvodnog sistema kompanije ALPHA. Prilikom korišćenja simulacije u istraživanju, najčešće se pretpostavlja „čista“ radionička proizvodnja, u kojoj je tok materijala i redosled operacija potpuno slučajan, pa se i zaključci izvode na osnovu te pretpostavke (Thürer et al., 2014). U praksi je „čista“ radionica retka (Oosterman et al., 2000), a to pokazuje i primer kompanije ALPHA, gde je porepoznat usmeren tok materijala. Pored toga, pretpostavlja se da je moguće odbiti posao, ukoliko se proceni da se on ne može završiti u traženom roku (Thürer et al., 2014). U praksi, ova pretpostavka često ne važi, i kompanije često prihvataju poslove čak i kada je očigledno da će rok biti probijen, jer se plaše finansijskih posledica odbijanja posla, što je slučaj i sa kompanijom ALPHA. Ovi elementi su uzeti u obzir prilikom razvoja simulacionog modela, kako bi se obezbedilo da model, i pored jednostavnosti, opiše realnu situaciju.

6.2.3.1 Verbalni opis simulacije i dizajn eksperimenta

Simulacioni model je implementiran u programskom jeziku Python[®] uz korišćenje modula za simulaciju diskretnih događaja Simpy[®]. Simulacioni model je jednostavan, kako bi se zadržao fokus na uticaju eksperimanetalnih faktora na protočno vreme i pouzdanost isporuke, i kako bi se izbegle interakcije koje nisu relevantne za ovo istraživanje. Zbog toga je eksperiment dizajniran tako da može da da odgovore na dva istraživačka pitanja: (i) kako stabilizacija procesa, upravljanje baferima i uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje utiču na protočna vremena; i (ii) kako stabilizacija procesa, upravljanje baferima i uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje utiču na pouzdanost isporuke.

Simulacioni model se sastoji od šest radnih stanica, gde svaku radnu stanicu čini jedan resurs sa konstantnim raspoloživim kapacitetom. Analizom podataka iz kompanije ALPHA je utvrđeno da se materijal kroz radionicu uvek kreće u istom smeru, pa je model postavljen tako da predstavlja radionicu sa „opštim“ tokom (*eng. general flow shop*). To znači da proizvodi ne moraju da posete svaki radni centar, ali se kroz proizvodnju kreću uvek u istom smeru. Broj faza obrade varira, i posao može posetiti od jedne do šest radnih stanica.

S obzirom da je cilj simulacije da se utvrdi kako eksperimentalni faktori utiču na protočno vreme i pouzdanost isporuke, kontrolni simulacioni model (proizvodni sistem bez bilo kakve intervencije) je napravljen tako da rezultati simulacije u velikoj meri odslikavaju rezultate koje postiže realan sistem, i to u periodima visokog opterećenja. Podaci o efektivnim vremenima obrade iz 2014. godine su analizirana u softveru Arena[®], uz korišćenje alata *Input Analyzer* sa ciljem utvrđivanja raspodele koja najviše odgovara realnom stanju. Prilikom analize vremena obrade je utvrđeno da je raspon dosta veliki, pa su iz uzorka izbačene sve ekstremne vrednosti, odnosno vremena obrade koja su duža od 10 dana, što čini oko 2% svih poslova. Postavljena je pretpostavka da su prosečna vremena obrade za sve radne centre jednaka. Analiza podataka o efektivnom vremenu obrade je pokazala da je ovakva pretpostavka validna. Polazeći od te pretpostavke, u *Input Analyzer* su ubačeni svi dostupni podaci o vremenima obrade, u cilju analize distribucije. Grafički prikaz raspodele je dat na Slici 42, gde histogram predstavlja realne podatke, dok kriva linija predstavlja lognormalnu raspodelu koja

aproksimira vremena obrade. Grafik pokazuje da postoji podudaranje između histograma i krive linije.



Slika 42. Raspodela vremena obrade u kompaniji ALPHA

Veličina uzorka iznosi 586 radna naloga iz 2014. godine. Srednja vrednost vremena obrade iznosi 0,902 dana, dok je standardna devijacija 1,49. Minimalno trajanje vremena obrade u uzorku je 0,0104 dana, dok je maksimalno trajanje vremena obrade 9,44 dana. Za proveru pretpostavke o lognormalnoj raspodeli uzorka, u korišćen je Kolmogorov-Smirnov test za jedan uzorak. Rezultati testa pokazuju da je značajnost $p > 0,15$, što je veće od praga značajnosti (0,05), pa se može reći da vremena obrade imaju lognormalnu raspodelu. Zato su vremena obrade modelirana kroz lognormalnu raspodelu, sa srednjom vrednošću obrade od 1 dana (u ovom slučaju su to dani, ali se zbog generalizacije u modelu, kao i u tumačenju rezultata, može koristiti i opšti termin „vremenske jedinice“). Posmatrajući srednju vrednost i standardnu devijaciju, može se zaključiti da je nivo varijacija u sistemu veliki (koeficijent varijacije iznosi 165%). Radi jednostavnije kontrole eksperimentalnih faktora, za kontrolni eksperiment je definisan koeficijent varijacije od 100%, što se smatra visokim nivoom varijacija u vremenima obrade (Thürer et al., 2015), dok je funkcija raspodele vremena obrade trimovana (ograničena), pa je najduže dozvoljeno vreme obrade 4 dana. Ostale karakteristike simulacionog modela su date u Tabeli 33.

Precizni podaci o vremenu između dolaska poslova ne postoje, pa je neophodna aproksimacija na osnovu drugih raspoloživih podataka. U 2014. godini je u kompaniji ALPHA bilo ukupno 724 radna naloga. Nakon analize radnih naloga, iz skupa radnih naloga su izbačeni oni koji se ne odnose na poslove koji se obavljaju u radionici (nalozi

koji se odnose na održavanje mašina, transport, iznošenje otpada, rad u magacinu, rad na terenu i slično), i došlo se do brojke od 586 radnih naloga. Ukoliko se pretpostavi da se u godini radi 365 dana, prosečno vreme između dolaska poslova se može aproksimirati na 0,623 dana.

Tabela 33. Karakteristike simulacionog modela

Karakteristika	Opis
Konfiguracija radionice	Radionica sa „opštim“ tokom, šest radnih centara
Broj faza obrade	Slučajan, od 1 do 6, bez povratnih putanja
Vremena trajanja operacija	Lognormalna raspodela, srednja vrednost 1, maksimalna 4 dana
Vreme između dolaska poslova	Ekspencijalna rasp., srednja vrednost 0,648 dana
Rokovi isporuke	Eksterno definisani, dodavanjem slučajnog faktora
Faktor za definisanje roka ispor.	Uniformna raspodela, od 30 do 45 dana
Pravilo dispečiranja	FIFO (First In, First Out)

Podaci iz 2014. godine govore kako je nešto više 50% poslova završeno uz određeno kašnjenje. Detaljnijom analizom je utvrđeno da je uzrok oko 20% kašnjenja sam kupac, koji nije na vreme dostavio neophodne podatke. Zbog toga se procenat kašnjenja sa uzrocima unutar same kompanije kreće oko 40%. Kako bi se u kontrolnom eksperimentu obezbedilo da procenat kašnjenja odgovara realnom sistemu, bilo je neophodno donekle redukovati vreme između dolaska poslova, pa je srednja vrednost vremena između dolaska poslova postavljena na 0,648 dana, i prati ekspencijalnu raspodelu. Ovako definisano vreme između dolaska poslova obezbeđuje iskorišćenje kapaciteta od oko 90%, što predstavlja iskorišćenje kapaciteta u periodima visokog opterećenja.

Rokovi isporuke su u najvećoj meri definisani eksterno, odnosno zahtevani od strane kupaca. Ovakav stav je dominantan i u stručnoj i naučnoj literaturi (videti, na primer, Thürrer et al., 2012; Thürrer et al., 2014; Land et al., 2015). U simulacionom modelu se rokovi isporuke definišu tako što se na vreme prijema posla dodaje slučajni faktor od 30 do 45 dana, koji ima uniformnu raspodelu. Slučajni faktor je definisan kroz probne eksperimente tako da obezbeđuje da u kontrolnom eksperimentu procenat poslova koji su isporučeni nakon definisanog roka isporuke bude 40%.

S obzirom da je jedna od osnovnih karakteristika lin pristupa njegova jednostavnost, kao pravilo dispečiranja je odabran FIFO princip, pošto on obezbeđuje dobru transparentnost radionice, a ne zahteva velike napore prilikom dispečiranja poslova.

Cilj simulacije je da se proverí uticaj koji stabilizacija procesa, upravljanje baferima i uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja mogu imati na protočno vreme i pouzdanost isporuke u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Zbog toga je odlučeno da se tokom analize utiče na tri eksperimentalna faktora: varijacije u vremenima obrade uz zadržavanje iste srednje vrednosti, dužinu vremena obrade, kao i na opterećenje radnih centara prilikom uvođenja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje. Pregled eksperimentalnih faktora je dat u Tabeli 34.

Tabela 34. Pregled eksperimentalnih faktora

Eksperimentalni faktor	Vrednost
Varijacije u vremenu obrade	Visoke (cv=100%); srednje (cv=50%); niske (cv=25%)
Vreme obrade	Normalno vreme obrade; vreme obrade redukovano za 5%
Maksimalno dozvoljeno opterećenje	10; 9; 8; 7; 6; 5; 4 [dana]

Kroz promenu varijacija u vremenu obrade se proverava uticaj stabilizacije procesa na protočna vremena i pouzdanost isporuke. Ovde treba napomenuti da se pod vremenom obrade smatra efektivno vreme obrade koje, pored vremena kada se na predmetu rada zaista radi, uključuje i druge elemente koji zapravo smanjuju raspoloživo radno vreme i produktivnost, kao što su vreme izmene alata, dorada, nepredviđeni prekidi u radu (nedostatak materijala, alata, odsustvo radnika) i slično. Varijacije u vremenima obrade se mogu smanjiti održavanjem dobre uređenosti radnih mesta, eliminisanjem grešaka, standardizovanem operacija, standardizovanjem izmene alata i podešavanja mašina, unapređivanjem metoda rada, dodatnom obukom zaposlenih i slično. U simulaciji neće biti analizirani pojedinačni pristupi smanjenju varijacija, već je fokus na opšti uticaj stabilizacije procesa na protočna vremena i pouzdanost isporuke. Kroz eksperiment će biti analizirana tri nivoa varijacija: visoke (cv=100%), srednje (cv=50%) i niske (cv=25%).

Smanjenje vremena obrade dovodi do smanjenja korišćenja kapaciteta, ukoliko ostali parametri ostanu nepromenjeni. Tako se kroz smanjenje vremena obrade analizira uticaj upravljanja baferima, gde se ostavlja više slobodnih kapaciteta koji se mogu iskoristiti

za kompenzovanje varijacija. U simulaciji će biti analizirano kakav uticaj na protočno vreme i pouzdanost isporuke ima smanjenje vremena obrade za 5%, koji dovodi do smanjenja stepena korišćenja kapaciteta sa 90% na 85%. U praksi se na smanjenje vremena obrade može uticati kroz unapređenje metoda rada, smanjenje vremena izmene alata i podešavanja opreme, eliminisanje rasipanja, preventivno održavanje mašina i slično. Kao što je objašnjeno u modelu implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, da rezultat korišćenja istih metoda može biti stabilizacija procesa, ali i upravljanje baferima kroz oslobađanje kapaciteta.

Sistem kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje će u simulaciji biti implementiran na način na koji je prikazano u modelu implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Poslovi se neće puštati u proizvodnju istog momenta kada budu spremni, već će prvo ići u skup poslova iz koga će se puštati u proizvodnju samo ukoliko njihovo puštanje ne prekoračuje maksimalno dozvoljeno opterećenje, izraženo u danima. Nepostojanje maksimalnog dozvoljenog opterećenja označava trenutno puštanje poslova u proizvodnju, pa će se kroz uvođenje maksimalnog dozvoljenog opterećenja analizirati uticaj uspostavljanja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje na protočna vremena i pouzdanost isporuke. Pored toga, uspostavljanjem ovakvog sistema se obezbeđuje upravljanje baferima, ovoga puta zalihama, na dva načina: (i) baferuje se uticaj eksternih varijacija, tako što se proizvodnja odvajava od tražnje baferom (skupom radnih naloga koji čekaju na puštanje); i (ii) upravlja se zalihama nedovršene proizvodnje, tako što se njihov nivo postepeno smanjuje kroz smanjenje maksimalnog dozvoljenog opterećenja. U eksperimentu će se koristiti 7 nivoa maksimalnog dozvoljenog opterećenja, od 10 dana do 4 dana, gde će se maksimalno dozvoljeno opterećenje u svakom eksperimentu smanjivati za 1. Doprinos određenog posla opterećenju svakog radnog centra se redukuje, tako što se količina posla podeli sa pozicijom odgovarajućeg radnog centra u redosledu operacija za posmatrani posao. Ovo se radi zato što pušteni posao neće odmah početi da doprinosi direktnom opterećenju, na primer, trećeg radnog centra u redosledu operacija, već tek nakon određenog vremena (nakon završetka obrade na prvom i drugom radnom centru). Poslovi se razmatraju za puštanje kontinuirano, odnosno svaki put kada novi posao dođe u skup poslova za puštanje (kontrolisano guranje proizvodnje), odnosno kada se na nekom od radnih centara oslobode kapaciteti završetkom nekog posla (vučenje proizvodnje).

U kontrolnom eksperimentu, simulacioni model je konfigurisan tako da se poslovi puštaju u proizvodnju istog momenta kada pristignu (nema ograničenja opterećenja), varijacije u vremenima obrade su velike, i vremena obrade nisu redukovana.

Kroz simulaciju će se prikupljati sledeći podaci:

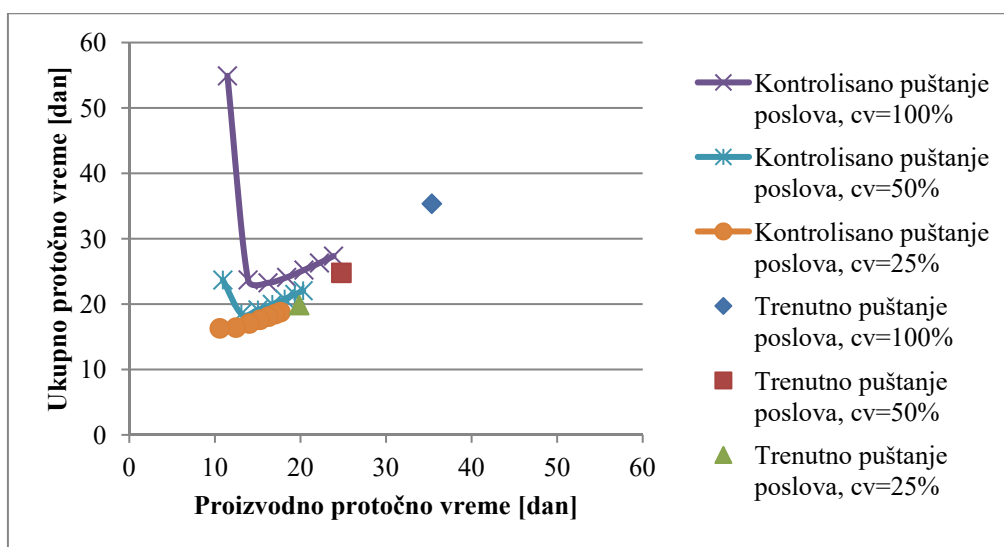
- Srednje proizvodno protočno vreme – predstavlja razliku vremena završetka i posla i vremena puštanja posla u proizvodnju; to je srednje vreme koje posao provede u radionici, i prema Little-ovom zakonu odslikava opterećenje radionice;
- Srednje ukupno protočno vreme – predstavlja razliku vremena završetka posla i vremena pristizanja posla; to je vreme koje kupac treba da čeka kako bi dobio proizvode koje je poručio;
- Procenat kašnjenja u isporuci – predstavlja procenat poslova završenih nakon definisanog roka isporuke; to je procenat poslova koji će kupcu biti isporučeni sa zakašnjenjem;
- Srednje vreme kašnjenja isporuke – predstavlja razliku između ostvarenog datuma isporuke i planiranog roka isporuke.

Imajući u vidu eksperimentalne faktore, ukupno je izvršeno 47 eksperimenata (3 nivoa varijacija u vremenu obrade * 2 nivoa trajanja vremena obrade * 7 nivoa maksimalnog dozvoljenog opterećenja, i 5 eksperimenata u kojima je proveravan samo uticaj stabilizacije procesa i redukcije vremena obrade), ne računajući kontrolni eksperiment. Kod svakog eksperimenta je simulacija trajala 10000 dana, uz period „zagrevanja“ od 3000 dana, kako bi se sistem doveo u stabilno stanje. Svaki eksperiment je ponovljen 100 puta, i srednje vrednosti predstavljaju prosečnu vrednost rezultata iz svih 100 replika eksperimenta.

Značajnost razlike između rezultata dva eksperimenta je verifikovana korišćenjem uparenog t-testa. Svaki put kada se govori o razlici između rezultata dva eksperimenta, ta razlika je statistički značajna, gde je značajnost manja od praga značajnosti ($p < 0,01$).

6.2.3.2 Analiza mogućnosti skraćenja protočnog vremena

Na Slici 43 su prikazani proizvodno i ukupno protočno vreme, i to u slučajevima kada se poslovi u proizvodnju puštaju istog trenutka kada su spremni (trenutno puštanje poslova, bez ograničenja opterećenja), kao i u slučaju kada se poslovi puštaju samo ukoliko njihovo puštanje ne utiče na prekoračenje definisanog nivoa opterećenja na svakom od radnih centara koje posao treba da poseti. Za oba načina puštanja poslova su urađena po tri eksperimenta, sa različitim nivoom varijacija u vremenima obrade. Rezultati pri trenutnom puštanju poslova su na grafiku obeleženi tačkom, dok su rezultati kontrolisanog puštanja obeleženi krivom, gde levi kraj krive predstavlja rezultat sa najstriktnijim ograničenjem nivoa opterećenja (4 dana). Nivo dozvoljenog opterećenja radnih centara se povećava kako se kriva kreće sa leve na desnu stranu, i svaka naredna tačka predstavlja maksimalno dozvoljeno opterećenje koje je veće za 1 dan. Krajnji desni deo krive predstavlja najveće dozvoljeno opterećenje od 10 dana. Tačke predstavljaju izolovani uticaj smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade na proizvodno i ukupno protočno vreme. Gornja kriva predstavlja izolovani uticaj kontrolisanog puštanja poslova na proizvodno i ukupno protočno vreme. Donje krive predstavljaju kombinovani uticaj smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i kontrolisanog puštanja poslova na proizvodno i ukupno protočno vreme.



Slika 43. Proizvodno i ukupno protočno vreme pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnju

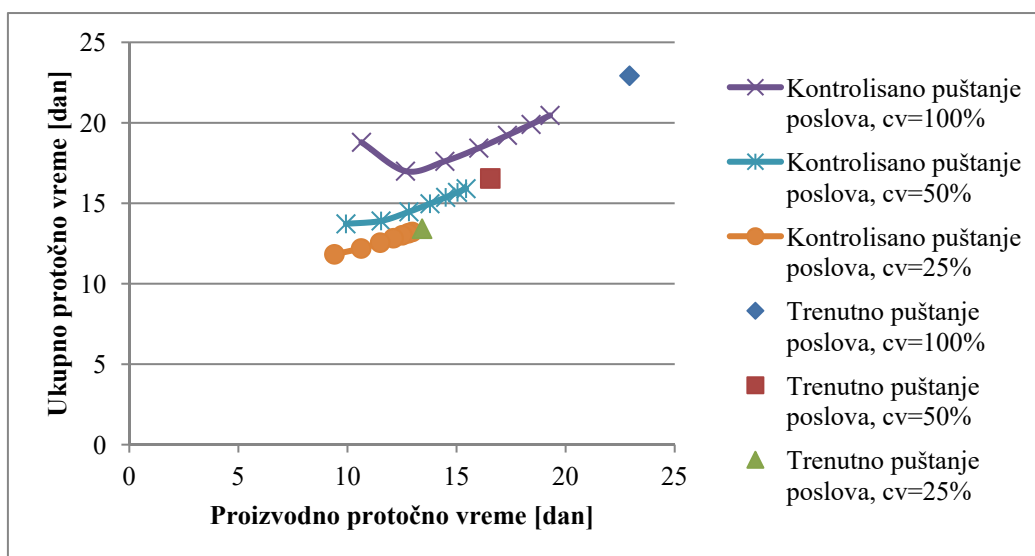
Pri trenutnom puštanju, proizvodno protočno vreme i ukupno protočno vreme su jednaki, s obzirom da posao sve vreme provodi u samoj proizvodnji. Ono što se prvo primećuje sa Slike 43 je da samo smanjivanje varijacija u efektivnom vremenu obrade može značajno da unapredi protočna vremena. Unapređenje koje se postiže snižavanjem varijacija sa velikih na srednje je značajnije od onog koje se postiže snižavanjem varijacija sa srednjih na niske. Ovaj rezultat je u skladu sa stavom koji su izneli Schmenner & Swink (1998) da je, uz istu količinu napora, lakše ostvariti unapređenja što je kompanija udaljenija od svoje operativne granice kao željenog stanja kojem teži. Takođe se vidi da je izolovani uticaj kontrolisanog puštanja poslova značajan, gde su smanjenja i proizvodnog i ukupnog protočnog vremena u odnosu na trenutno puštanje poslova u proizvodnju velika. Pored toga, primećuje se da se proizvodno protočno vreme povećava sa povećanjem maksimalnog dozvoljenog opterećenja, što je takođe očekivano, s obzirom da zaliha nedovršene proizvodnje raste, pa posao provodi više vremena čekajući ispred nekog radnog centra da bude obrađen. Sa grafika se vidi da veličina maksimalnog dozvoljenog opterećenja, u sadejstvu sa smanjenjem varijacija u efektivnom vremenu, može imati značajan uticaj na ukupno protočno vreme. Sa smanjivanjem maksimalnog dozvoljenog opterećenja se smanjuje i proizvodno protočno vreme, dok se ukupno protočno vreme smanjuje samo do određene granice, nakon čega značajno raste. Ovo je posledica toga što uslovi za puštanje novih poslova u proizvodnju postaju strožiji, zbog čega posao provodi više vremena u skupu poslova koji čekaju da budu pušteni. Sa svakim smanjenjem maksimalnog dozvoljenog opterećenja se vreme provedeno u skupu poslova koji čekaju da budu pušteni povećava, ali se to povećanje vremena može kompenzovati skraćivanjem proizvodnog protočnog vremena. Kada se pređe određena granica (u slučaju visokih i srednjih varijacija, to je opterećenje od 5 dana), skraćivanje proizvodnog protočnog vremena ne može da kompenzuje povećanje vremena koje posao provede u skupu poslova koji čekaju na puštanje. Ovo poziva na oprez, s obzirom da izrazito stroga ograničenja u maksimalnom opterećenju radnih centara mogu dovesti do značajnog povećanja ukupnog protočnog vremena, a posledično i do većeg kašnjenja u isporuci. Primećuje se da ukupno protočno vreme ne raste sa smanjenjem maksimalnog dozvoljenog opterećenja u slučaju kada su varijacije u vremenima obrade niske. To dodatno govori u prilog tome da se u nerepetitivnim proizvodnim sistemima prvo treba raditi na stabilizaciji procesa (kroz standardizaciju

operacija, unapređenje metoda rada, standardizaciju izmene alata i podešavanja mašina, obuku zaposlenih i slično) pre nego što se pređe na uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje. Ovo je u skladu sa stavom koji je izneo Shingo (1989) da prvo treba uticati na smanjenje varijacija, a tek onda smanjivati bafere (u ovom slučaju zalihe nedovršene proizvodnje) koji kompenzuju varijacije.

Sa Slike 43 se može videti da uticaj uspostavljanja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje opada u situacijama kada su varijacije u efektivnom vremenu obrade male. Smanjivanjem maksimalnog dozvoljenog opterećenja od najveće ka najmanjoj vrednosti pri niskim varijacijama ukupno protočno vreme smanjuje za nešto više od 2 dana. Međutim, smanjenje proizvodnog protočnog vremena nije beznačajno, što znači da posao kraće vreme provodi u samoj proizvodnji. To može imati značajne posledice na nerepetitivne proizvodne sisteme, s obzirom da nisu retke situacije da kupac u poslednjem momentu zahteva određene izmene na proizvodima. Duže vreme koje posao provede u skupu poslova koji čekaju na puštanje obezbeđuje nerepetitivnim proizvodnim sistemima duži vremenski interval u kojem mogu da reaguju na zahteve za izmenama na proizvodima.

Na Slici 44 je prikazano proizvodno protočno vreme, kao i ukupno protočno vreme, i to u slučajevima kada se poslovi u proizvodnju puštaju istog trenutka kada su spremni, kao i u slučaju kada se poslovi puštaju samo ukoliko njihovo puštanje ne utiče na prekoračenje definisanog nivoa opterećenja na svakom od radnih centara koje posao treba da poseti, uz redukciju vremena obrade od 5%. Ova redukcija je dovela i do smanjenja stepena korišćenja kapaciteta, koji je u ovim eksperimentima iznosio 85%. Kao i bez redukcije, i ovde su za oba načina puštanja poslova urađena po tri eksperimenta, sa različitim nivoom varijacija u vremenima obrade. Gornja tačka (trenutno puštanje poslova, $cv=100\%$) predstavlja izolovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade na proizvodno i ukupno protočno vreme, dok preostale dve predstavljaju kombinovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade i smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade. Gornja kriva (kontrolisano puštanje, $cv=100\%$) predstavlja kombinovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade i kontrolisanog puštanja poslova, dok preostale krive predstavljaju kombinovani uticaj smanjenja

efektivnog vremena obrade, smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i kontrolisanog puštanja poslova.



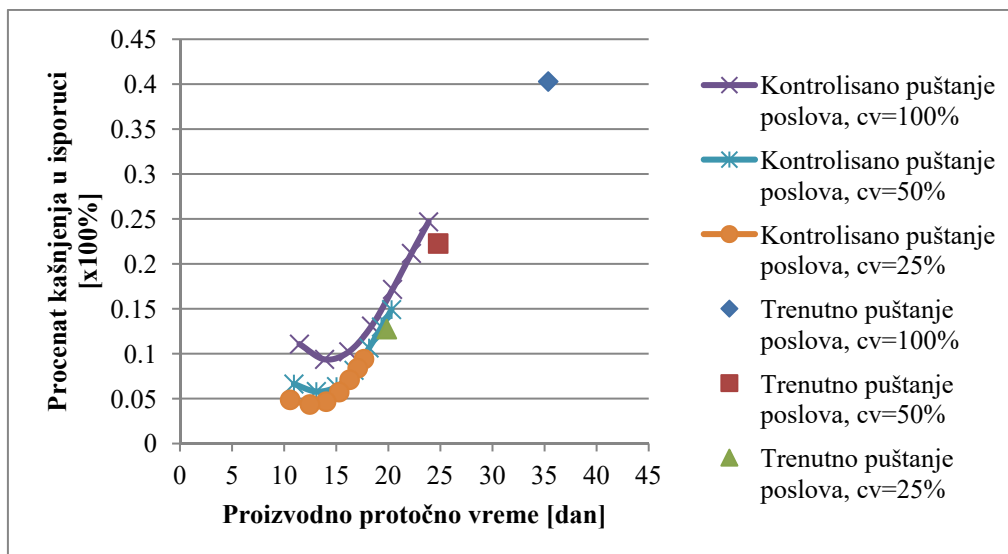
Slika 44. Proizvodno i ukupno protočno vreme pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnji, uz redukciju efektivnog vremena obrade

Sa Slike 44 se može videti da oslobađanje kapaciteta koje je nastalo kao posledica smanjenja efektivnog vremena ima najveći izolovani uticaj na proizvodno i ukupno protočno vreme. Rezultati koji su ostvareni su nešto bolji u odnosu na izolovano delovanje smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i kod proizvodnog i kod ukupnog protočnog vremena (koji su kod trenutnog puštanja poslova jednaki). U poređenju sa kontrolisanim puštanjem poslova, ostvaruju se nešto bolji rezultati u smanjenju proizvodnog protočnog vremena, i znatno bolji rezultati u smanjenju ukupnog protočnog vremena. Slični rezultati su ostvareni kroz izolovano delovanje smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i izolovano delovanje smanjenja efektivnog vremena obrade. Međutim, za ostvarivanje rezultata je bilo neophodno smanjiti koeficijent varijacije na pola (sa 100% na 50%), dok je za iste rezultate bilo potrebno osloboditi oko 5% kapaciteta (kao rezultat smanjenja efektivnog vremena obrade za 5%). Ovaj podataka je značajan i govori da manji napor koji je potrebno uložiti u smanjenje stepena korišćenja kapaciteta donosi iste rezultate kao veći napor koji je potrebno uložiti u smanjenje varijacija u efektivnom vremenu obrade. Mogućnosti za smanjenje varijacija u efektivnom vremenu obrade, odnosno za smanjenje samog efektivnog vremena obrade, se razlikuju od proizvodnog sistema do

proizvodnog sistema. Da li će se proizvodni sistem odlučiti za jednu ili drugu strategiju zavisi od konkretne situacije. Preporuka je da se prvo sprovedu aktivnosti na smanjenju stepena korišćenja kapaciteta (odnosno na smanjenju efektivnog vremena obrade), kako bi se ubrzao tok materijala kroz proizvodnju, a zatim aktivnosti na smanjenju varijacija u efektivnom vremenu obrade, kako bi se tok materijala učinio uravnoteženim i predvidivim. Pored toga, za značajno smanjenje varijacija u efektivnom vremenu obrade mogu biti potrebni radikalniji potezi, kao što je grupisanje manjih, odnosno podela većih poslova, dok se oslobađanje kapaciteta može obezbediti jednostavnijim strategijama, kao što su uvođenje dodatnih smena ili prekovremeni rad. Osim toga, preporučljivo je sprovoditi aktivnosti kojim se istovremeno može delovati i na smanjenje varijacija u efektivnom vremenu obrade i na oslobađanje kapaciteta, kao što su povećanje efikasnosti izmene alata, povećanje efikasnosti preventivnog održavanja, unapređenje metoda rada, obuka radnika i stvaranje fleksibilne radne snage i slično. Kod kombinovanog delovanja sva tri eksperimentalna faktora, može se primetiti da sistem kontrolisanog guranja/vučenja gubi na značaju u situacijama kada su efektivna vremena obrade stabilna, i kada je stepen korišćenja kapaciteta manji. Uticaj se ogleda, pre svega, na smanjenje proizvodnog protočnog vremena, dok je uticaj na ukupno protočno vreme manji. Pored toga, vidi se da dodatno ograničavanje maksimalnog nivoa opterećenja dovodi do manjih poboljšanja, pa bi kontrolu zaliha nedovršene proizvodnje prevashodno trebalo vršiti u situacijama kada su varijacije u efektivnom vremenu obrade visoke i kada je stepen korišćenja kapaciteta visoko.

6.2.3.3 *Analiza mogućnosti unapređenja pouzdanosti isporuke*

Na Slici 45 je dat prikaz proizvodnog protočnog vremena i procenta kašnjenja u isporuci, u slučajevima kada se poslovi puštaju u proizvodnju istog trenutka kada su spremni, kao i u slučajevima kada se poslovi kontrolisano puštaju u proizvodnju. Tačke predstavljaju izolovani uticaj smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade na procenat kašnjenja u isporuci. Gornja kriva predstavlja izolovani uticaj kontrolisanog puštanja poslova na procenat kašnjenja u isporuci. Donje krive predstavljaju kombinovani uticaj smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i kontrolisanog puštanja poslova na procenat kašnjenja u isporuci.

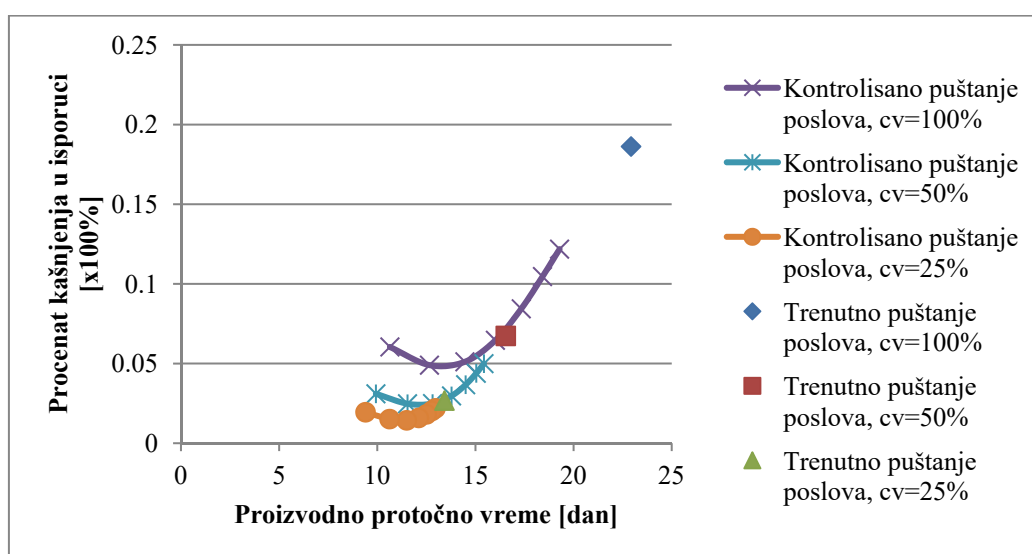


Slika 45. Proizvodno protočno vreme i procenat kašnjenja u isporuci pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnju

Sa Slike 45 se vidi da stabilizacija procesa i uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja poslova imaju sličan uticaj na procenat kašnjenja u isporuci kao na ukupno protočno vreme. Najveća poboljšanja se ostvaruju smanjenjem varijacija u efektivnom vremenu obrade, a otprilike ista poboljšanja se mogu postići i uvođenjem sistema kontrolisanog guranja/vučenja u situaciji kada su varijacije visoke. Takođe se može videti da smanjenje nivoa zaliha nedovršene proizvodnje ima najvećeg uticaja u situacijama kada su varijacije u efektivnom vremenu obrade visoke. To znači da nerepetitivni proizvodni sistemi mogu da biraju između ove dve strategije u zavisnosti od mogućnosti smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade. Ukoliko je delovanjem na izmenu alata, preventivno održavanje, unapređenje metoda rada, podelu velikih poslova na manje moguće smanjiti varijacije, izbor bilo koje od ove dve strategije može doneti rezultate. Ukoliko je stabilizacija procesa otežana, onda se rezultati brže mogu postići uspostavljanjem sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje.

Na Slici 46 je dat prikaz proizvodnog protočnog vremena i procenta kašnjenja u isporuci, u slučajevima kada se poslovi puštaju u proizvodnju istog trenutka kada su spremni, kao i u slučajevima kada se poslovi kontrolisano puštaju u proizvodnju, ali ovoga puta uz redukciju vremena obrade za 5%, odnosno uz stepen korišćenja kapaciteta koji je manji za oko 5%. Ponašanje krive koja prikazuje procenat kašnjenja u

isporuci je slično kao i u slučaju kada nije bilo redukcije vremena obrade. Gornja tačka (trenutno puštanje poslova, $cv=100\%$) predstavlja izolovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade na procenat kašnjenja u isporuci, dok preostale dve predstavljaju kombinovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade i smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade. Gornja kriva (kontrolisano puštanje, $cv=100\%$) predstavlja kombinovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade i kontrolisanog puštanja poslova, dok preostale krive predstavljaju kombinovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade, smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i kontrolisanog puštanja poslova.



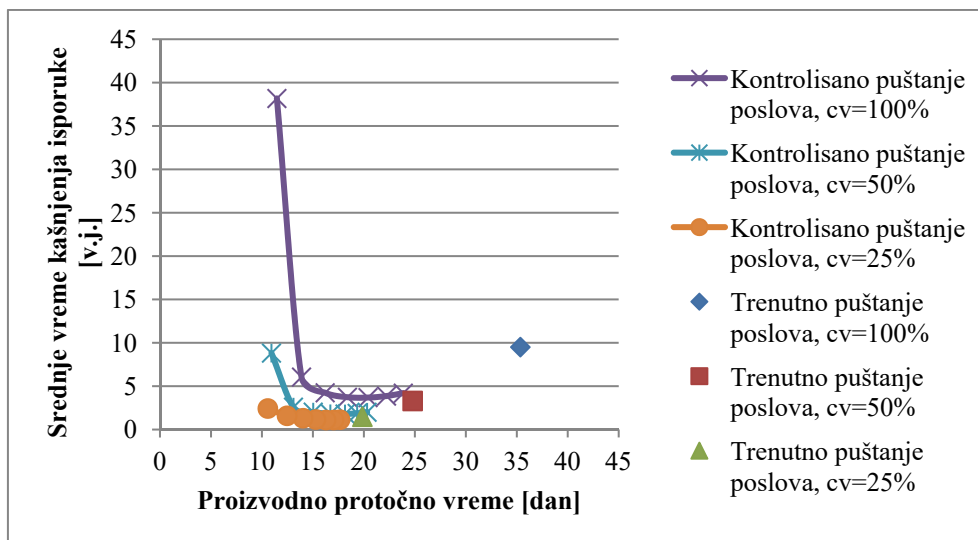
Slika 46. Proizvodno protočno vreme i procenat kašnjenja u isporuci pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnji, uz redukciju efektivnog vremena obrade

Sa Slike 46 se vidi da je, kao i kod smanjenja ukupnog protočnog vremena, najbolja kombinacija smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i smanjenja efektivnog vremena obrade, odnosno oslobađanja kapaciteta. To još jednom govori u prilog sprovođenju aktivnosti kao što su povećanje efikasnosti izmene alata, unapređenje metoda rada, unapređenje preventivnog održavanja opreme i slično, a koje imaju zajednički efekat na smanjenje varijacija i oslobađanje kapaciteta. Takođe se vidi da kod kombinovanog delovanja sva tri eksperimentalna faktora, uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje daje najmanji efekat, gde se procenat kašnjenja u isporuci tek neznatno smanjuje. Pored toga, vidi se da smanjenje zaliha ne dovodi do značajnih poboljšanja u situacijama kada je proces stabilan a stepen

korišćenja kapaciteta nije veliki, pa kod upravljanja baferima treba dati prednost obezbeđivanju kapaciteta nad smanjenjem nivoa zaliha nedovršene proizvodnje. Rezultati pokazuju da striktno kontrolisanje zaliha nedovršene proizvodnje može dovesti do rezultata koji su lošiji nego kada je kontrola liberalnija, ali su ti rezultati i dalje bolji nego u situacijama kada se zalihe nedovršene proizvodnje uopšte ne kontrolišu.

Na Slici 47 je prikazano proizvodno protočno vreme i srednje vreme kašnjenja isporuke, u slučajevima kada se poslovi puštaju u proizvodnju istog trenutka kada su spremni, kao i u slučajevima kada se poslovi kontrolisano puštaju u proizvodnju. Tačke predstavljaju izolovani uticaj smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade na srednje vreme kašnjenja isporuke. Gornja kriva predstavlja izolovani uticaj kontrolisanog puštanja poslova na srednje vreme kašnjenja isporuke. Donje krive predstavljaju kombinovani uticaj smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i kontrolisanog puštanja poslova na srednje vreme kašnjenja isporuke.

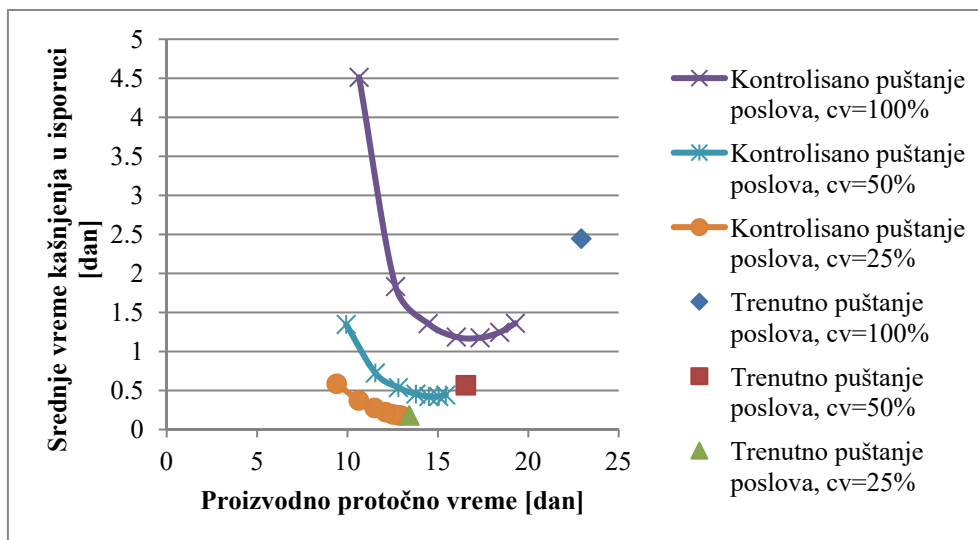
Kao i u prethodnim slučajevima, izolovani uticaj smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade ima značajan uticaj na smanjenje srednjeg vremena kašnjenja u isporuci. Uvođenje sistema kontrolisanog guranja/vučenja u situacijama kada su varijacije u efektivnom vremenu obrade visoke takođe može imati značajan uticaj na smanjenje. Smanjenje zaliha nedovršene proizvodnje ima ograničen uticaj na smanjenje srednjeg vremena kašnjenja u isporuci, gde vrlo striktno kontrolisanje maksimalnog dozvoljenog opterećenja ima negativan uticaj na srednje vreme kašnjenja, i značajno ga povećava.



Slika 47. Proizvodno protočno vreme i srednje vreme kašnjenja isporuke pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnji

Uvećano srednje vreme kašnjenja isporuke je posledica dugačkog ukupnog protočnog vremena, s obzirom da pri striktno definisanom maksimalnom dozvoljenom opterećenju posao duže vremena provodi u skupu poslova koji čekaju na puštanje. Srednjem vremenu kašnjenja najviše doprinose „veliki“ poslovi (poslovi koji sadrže veliku količinu rada), s obzirom da njihovo puštanje u proizvodnju zahteva značajno smanjenje opterećenja radnih centara (odnosno završetak takođe „velikog“ posla, ili nekoliko „malih“), i gde „manji“ poslovi imaju veću prohodnost u radionicu. U ovom slučaju je značajno istražiti mogućnosti podele „velikih“ poslova na nekoliko „manjih“, koji bi brže napuštali skup poslova koji čekaju na puštanje u proizvodnju, čime bi se moglo uticati na smanjenje srednje vrednosti kašnjenja isporuke. Preduslov tome je unapređenje efikasnosti izmene alata, kako bi podela velikih poslova bila racionalna.

Na Slici 48 je prikazano proizvodno protočno vreme i srednje vreme kašnjenja isporuke, u slučajevima kada se poslovi puštaju u proizvodnju istog trenutka kada su spremni, kao i u slučajevima kada se poslovi kontrolisano puštaju u proizvodnju, ali ovoga puta uz redukciju vremena obrade za 5%, odnosno uz stepen korišćenja kapaciteta koji je manji za oko 5%.

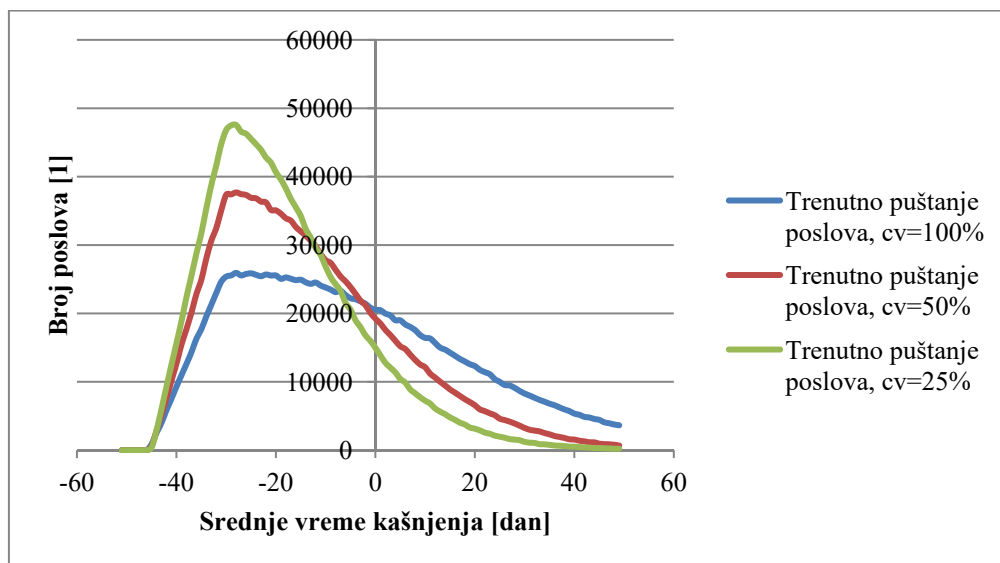


Slika 48. Proizvodno protočno vreme i srednje vreme kašnjenja u isporuci pri trenutnom i kontrolisanom puštanju poslova u proizvodnji, uz redukciju efektivnog vremena obrade

Gornja tačka (trenutno puštanje poslova, $cv=100\%$) predstavlja izolovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade na srednje vreme kašnjenja u isporuci, dok preostale dve predstavljaju kombinovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade i smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade. Gornja kriva (kontrolisano puštanje, $cv=100\%$) predstavlja kombinovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade i kontrolisanog puštanja poslova, dok preostale krive predstavljaju kombinovani uticaj smanjenja efektivnog vremena obrade, smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i kontrolisanog puštanja poslova. Ponašanje krive koja prikazuje srednje vreme kašnjenja isporuke je slično kao i u slučaju kada nije bilo redukcije vremena obrade. I ovde se kao najbolja pokazala kombinacija stabilizacije procesa i oslobađanja kapaciteta. Primetno je da uvođenje sistema kontrolisanog guranja/vučenja povećava srednje vreme kašnjenja isporuke u odnosu na trenutno puštanje poslova u proizvodnji. Povećanje nije veliko (kreće se oko 0,5 dana), ali još jednom pokazuje da je sistem kontrolisanog guranja/vučenja manje značajan u kontrolisanju srednjeg vremena kašnjenja isporuke u situacijama kada su varijacije u vremenima obrade niska, odnosno kada stepen korišćenja kapaciteta nije visok. Pored toga, primećuje se da povećanje srednjeg vremena kašnjenja isporuke raste kada je maksimalno dozvoljeno opterećenje

nisko a varijacije visoke, ali ne koliko i u slučaju kada je stepen korišćenja kapaciteta 90%.

Unapređenje pouzdanosti isporuke može biti posledica kraćih ukupnih protočnih vremena i/ili smanjenja standardne devijacije kašnjenja (Land, 2006). Na Slici 49 je prikazana distribucija kašnjenja isporuke pri različitim nivoima varijacija u vremenu obrade, u situaciji kada se poslovi trenutno puštaju u proizvodnju.

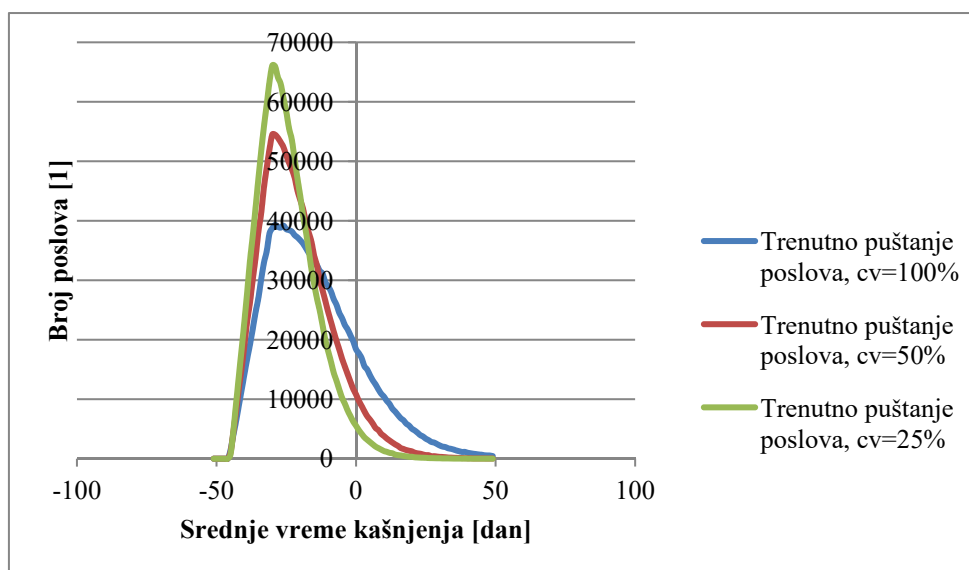


Slika 49. Distribucija kašnjenja isporuke kod trenutnog puštanja poslova u proizvodnju pri različitim nivoima varijacija u efektivnom vremenu obrade

U prethodnom poglavlju je pokazano da sva tri eksperimentalna faktora mogu uticati na smanjenje ukupnog protočnog, odnosno da stabilizacija procesa, upravljanje baferima i uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje dovode do toga da kupac čeka manje na isporuku proizvoda. Sa Slike 49, gde je prikazan izolovani uticaj smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade na standardnu devijaciju u vremenu kašnjenja isporuke, se vidi da stabilizacija procesa (odnosno smanjenje varijacija u efektivnom vremenu obrade) pozitivno utiče i na standardnu devijaciju kašnjenja, odnosno da je smanjuje.

Na Slici 50 je dat prikaz distribucije kašnjenja isporuke pri različitim nivoima varijacija u efektivnom vremenu obrade, u situaciji kada se poslovi trenutno puštaju u

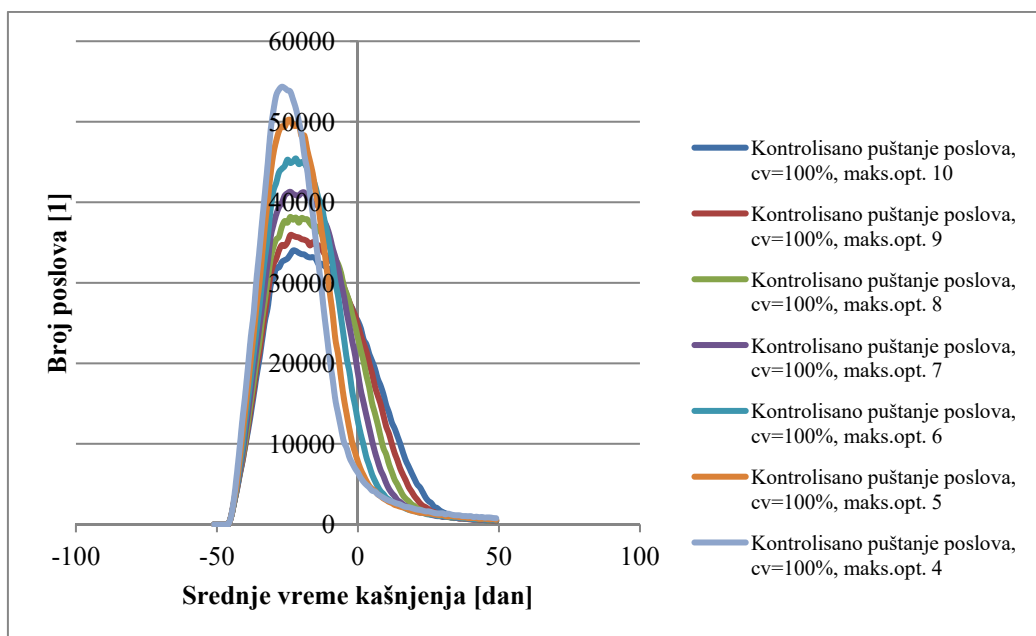
proizvodnju, uz redukciju efektivnog vremena obrade, odnosno uz oslobađanje određenog nivoa kapaciteta.



Slika 50. Distribucija kašnjenja isporuke kod trenutnog puštanja poslova u proizvodnju pri različitim nivoima varijacija u efektivnom vremenu obrade, uz redukciju efektivnog vremena obrade

Sa Slike 50 se vidi da postoji kombinovani uticaj smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade i smanjenja samog efektivnog vremena obrade, odnosno da se smanjenjem stepena korišćenja kapaciteta koje se postiže redukcijom vremena obrade dodatno smanjuje standardna devijacija kašnjenja. Kombinovani uticaj na smanjenje standardne devijacije srednjeg vremena kašnjenja isporuke je značajniji od izolovanog uticaja smanjenja varijacija u efektivnom vremenu obrade.

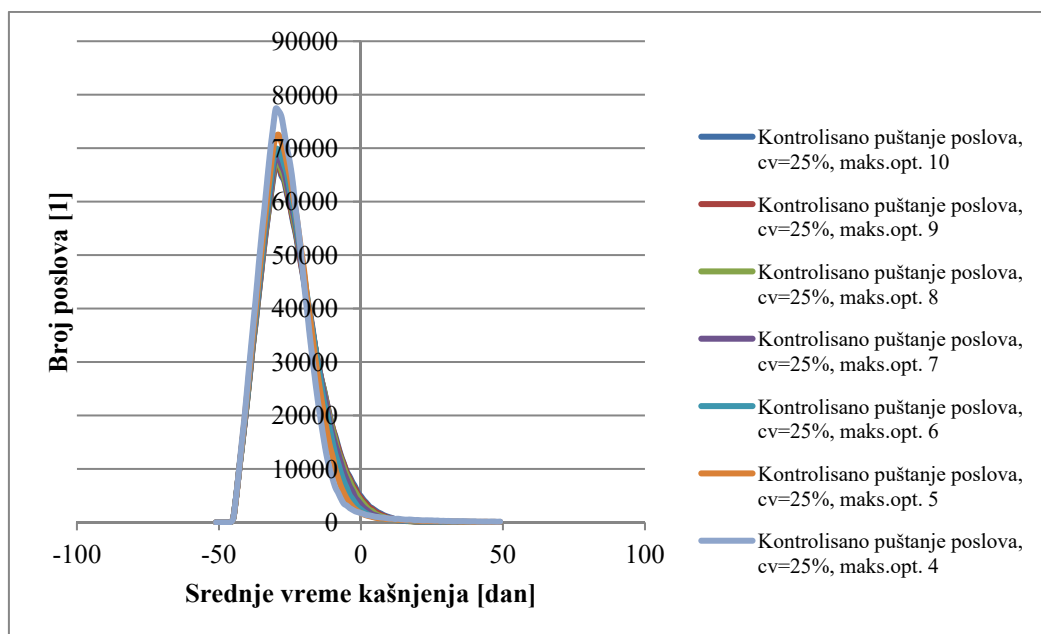
Dalje je analiziran uticaj sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje na smanjenje standardne devijacije kašnjenja. Na Slici 51 je prikazana distribucija kašnjenja isporuke kod primene sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje, u situaciji kada su varijacije u vremenima obrade visoke, i kada nije izvršena redukcija vremena obrade. Slika predstavlja uticaj uvođenja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje, kao i uticaj smanjenja nivoa zaliha nedovršene proizvodnje, koji je iskazan kroz različite vrednosti maksimalnog dozvoljenog opterećenja.



Slika 51. Distribucija kašnjenja isporuke kod kontrolisanog puštanja poslova, pri visokim varijacijama u vremenima obrade, bez redukcije vremena obrade

Sa Slike 51 se vidi da uvođenje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje ima pozitivan uticaj na standardnu devijaciju srednjeg vremena kašnjenja, odnosno da se standardna devijacija vremena kašnjenja smanjuje. Primećuje se da je standardna devijacija smanjuje sa smanjivanjem maksimalnog dozvoljenog opterećenja radnih centara. Ovakvi rezultati su očekivani, s obzirom da smanjenje nivoa zaliha nedovršene proizvodnje ubrzava protok materijala kroz radionicu, pa se time poboljšava i pouzdanost isporuke. Međutim, ovde treba biti pažljiv, pošto je u prethodnim analizama primećeno da preterano ograničavanje maksimalnog nivoa zaliha nedovršene proizvodnje može imati negativan uticaj na kašnjenje. Ovo je zbog toga što uslovi za puštanje novih poslova u proizvodnju postaju sve strožiji, pa novi poslovi provode više vremena u skupu poslova koji čekaju na puštanje, gde se taj višak vremena ne može kompenzovati uštedama koje su postignute u proizvodnim protočnim vremenima.

Ranije je primećeno da uticaj smanjenja nivoa zaliha nedovršene proizvodnje opada u situacijama u kojima je proces stabilan, i u kojima je više slobodnih kapaciteta na raspolaganju. Na Slici 52 je prikazana distribucija kašnjenja isporuke kod primene sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje, u situaciji kada su varijacije u vremenima obrade niske, i kada je izvršena redukcija vremena obrade.



Slika 52. Distribucija kašnjenja isporuke kod kontrolisanog puštanja poslova, pri niskim varijacijama u vremenima obrade, uz redukciju vremena obrade

Očekivano, kombinovano smanjivanje varijacija u efektivnom vremenu obrade, smanjivanje samog efektivnog vremena obrade, i uvođenja sistema kontrolisanog guranja/vučanja proizvodnje, odnosno smanjivanja nivoa zaliha nedovršene proizvodnje. Kao i kod prethodnih rezultata, i ovde potvrđeno da je u situacijama kada je proces stabilan i kada ima viška raspoloživih kapaciteta smanjenje nivoa zaliha nedovršene proizvodnje ima manje značaja nego u situacijama kada je proces izuzetno nestabilan, i kada je stepen korišćenja kapaciteta visok.

Iz prikazanih rezultata se može zaključiti da je unapređenje pouzdanosti isporuke u nerepetitivnim proizvodnim sistemima posledica kraćih ukupnih protočnih vremena (vremena završetka posla i vremena pristizanja posla) i smanjenja standardne devijacije kašnjenja.

6.2.4 Primena modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi u kompaniji ALPHA

Početkom 2015. godine je u kompaniji ALPHA započeto sa skupljanjem podataka i njihovom analizom, u cilju analize postojećeg načina rada i identifikacije mogućnosti za poboljšanja. Trenutno stanje u kompaniji je analizirani sa predstavnicima najvišeg

rukovodstva. Predstavljeni su im rezultati simulacije, kao i sam model implementacije lin pristupa koji je prilagođen potrebama nerepetitivnih proizvodnih sistema. Rukovodstvo kompanije je zaključilo da postoji prostor za unapređenje operativnih performansi kompanije, i da model može da se primeni u tu svrhu. Dogovoreno je da unapređenja treba tražiti u sva tri pravca, odnosno kroz stabilizaciju procesa, upravljanje baferima i uspostavljanje sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje. Predviđeno je da se prikupljanje podataka obavi do sredine 2015. godine, kako bi se sa primenom modela krenulo u julu i avgustu, koji predstavljaju period smanjene tražnje. Plan je bio da se od septembra u potpunosti počne sa primenom rešenja do kojih se došlo kroz primenu modela, i da se na kraju godine napravi poređenje rezultata koji su ostvareni sa podacima koji su prikupljeni do septembra 2015. godine.

U nastavku će biti dat prikaz svakog koraka primene modela implementacije lin pristupa, uz isticanje najznačajnijih elemenata koji su urađeni u svakom koraku.

Definisanje atributa kompanije ALPHA

Kompanija ALPHA predstavlja tipičan nerepetitivni proizvodni sistem, sa tražnjom koja je promenljiva i nepredvidiva i proizvodima koji se prave prema specifičnim zahtevima kupaca. U kompaniji se ove karakteristike smatraju preprekom da kompanija efikasno posluje, i kao idealno stanje je definisan sistem u kojem bi se kupcima nudili standardni proizvodi, ili manji skup različitih proizvoda koji bi nastali kombinovanjem standardnih komponenti, gde kupci ne bi bili uključeni u velikoj meri u projektovanje proizvoda.

Analizom kupaca i proizvoda je zaključeno da kompanija popunjava specifičnu nišu na tržištu, i da mogućnost zadovoljavanja različitih potreba kupaca zapravo predstavlja konkurentsku prednost na tržištu. Zaključeno je da, kako bi se zadržala konkurentska prednost, rešenja za unapređenje efikasnosti treba tražiti u okviru postojećih tržišnih uslova i načina poslovanja. Procenjeno je da trenutna proizvodna strategija, kao i oprema koja se koristi, podržavaju zahteve tržišta za prilagođenim proizvodima, i da treba raditi na unapređenju organizacije poslovnog sistema kako bi se povećala efikasnost proizvodnje i celokupnog poslovanja.

Ova faza primene modela implementacije lin pristupa je u kompaniji ALPHA trajala dva dana.

Identifikacija vrednosti za korisnika

Kao i kod većine kompanija, i kod kompanije ALPHA korisnici cene kvalitet, cenu i rokove. Iako postoje problemi sa kvalitetom, procenjeno je da su u posmatranom trenutku oni od sekundarnog značaja, s obzirom da su u najvećoj meri internog karaktera. Loši komadi vrlo retko stižu do krajnjeg kupca, ali interno mogu predstavljati problem u smislu neefikasnog korišćenja opreme, povećanja troškova proizvodnje i slično.

Korisnici najviše cene agilnost, odnosno sposobnost kompanije da u najkraćem roku odgovori na njihove zahteve, kao i pouzdanost u isporuci, odnosno sposobnost da se proizvodi isporuče u okviru rokova koji su dogovoreni. Rokovi su često kratki, i u najvećem broju slučajeva definisani eksterno od strane samog kupca. Rokovi su često uslovljeni daljom upotrebom proizvoda od strane kupca (na primer, planirani počeci različitih kampanja u kojima se koriste proizvodi kompanije ALPHA), pa je izuzetno važno da pouzdanost isporuke bude velika, odnosno da proizvodi budu isporučeni u dogovorenom roku. Kupci najčešće pristaju na ranije isporuke, dok se kašnjenja ne tolerišu.

U kompaniji je u tom trenutku svaka organizaciona celina imala svoju ideju o vrednosti koju treba isporučiti korisniku. Prodaja je pristajala na izuzetno kratke rokove, uz ograničene konsultacije sa projektovanjem i proizvodnjom. Projektovanje je smatralo da složeni proizvodi više vrede, ne razmatrajući mogućnosti proizvodnje takvih proizvoda, pa su rešenja često bila bespotrebno komplikovana. Kao rezultat toga se javlja nepotreban broj elemenata koji čine proizvod, a posledično i nepotrebno veliki broj operacija u montaži. Ovde je prepoznato i prvo očigledno rasipanje, a to je prekomerna obrada, koja nije suštinski uvećavala vrednost za korisnika.

Kao najznačajniji aspekti interne vrednosti su identifikovani kvalitet proizvoda i pravovremeno dostavljanje proizvoda sa jedne faze proizvodnje na narednu. Od posebnog je značaja da elementi stignu pravovremeno u montažu, s obzirom da je to najčešće poslednja faza proizvodnje, i da ne postoje velike mogućnosti da se u montaži kompenzuju kašnjenja. Problemi sa kvalitetom su takođe prepoznati kao značajni, gde se često dešavalo da loš proizvod pređe iz jedne faze proizvodnje u narednu, ili da se loš

kvalitet koji je nastao u prvim fazama proizvodnje detektuje tek u montaži, što zahteva doradu na svim radnim centrima koji slede onaj na kojem je loš kvalitet nastao.

Ova faza primene modela implementacije lin pristupa je u kompaniji ALPHA trajala tri dana.

Obuka zaposlenih

Planirano je da obuka zaposlenih u kompaniji ALPHA traje pet dana, i da bude organizovana kroz pet radionica. Obuka je započeta sa radionicom za najviše rukovodstvo, gde je prezentiran model implementacije lin pristupa, ciljevi koji se žele postići, kao i očekivani rezultati. U kompaniji ALPHA su u prethodnom periodu rađene obuke iz lin pristupa, ali je pristup obuci ocenjen kao nezadovoljavajući. Lin pristup je predstavljen šablonski, kroz skup alata i najbolje prakse koja je karakteristična za repetitivne proizvodne sisteme. Postojali su pokušaji da se alati koji su karakteristični za repetitivnu proizvodnju primene u kompaniji, ali su rezultati bili veoma ograničeni. U prethodnu obuku su uložena znatna finansijska sredstva, ali rezultati nikada nisu evaluirani. Zbog toga se među zaposlenima javio otpor prema lin pristupu, stav da se lin pristup ne može primeniti u kompaniji ALPHA, a rezultat pređašnjih pokušaja je puko obogaćivanje internog rečnika terminima koji su karakteristični za lin pristup (kanban, supermarket, rasipanja), a koji nemaju nikakav suštinski značaj. Zbog toga je prilikom obuke zaposlenih u najmanjoj mogućoj meri korišćena terminologija karakteristična za lin pristup, dok su isticani principi i načini na koji oni mogu unaprediti efikasnost proizvodnje.

Posebna pažnja je posvećena predstavljanju procesnog pristupa, gde je interni lanac vrednosti predstavljen kao skup međusobno zavisnih elemenata, gde svi elementi lanca snabdevanja rade na ostvarenju zajedničkog cilja, i gde se problemi koji su nastali u ranim fazama lanca snabdevanja, a koji se ne tretiraju, pojačavaju u kasnijim fazama.

U drugoj fazi (druga radionica) je model predstavljen rukovodiocima organizacionih jedinica, kao i predstavnicima zaposlenih iz organizacionih jedinica. U kompaniji ne postoji uloga poslovođe, pa je uvedena nova uloga vođe tima, za koje je organizovana treća radionica. Vođe tima su birane iz redova najiskusnijih radnika iz montaže, čiji je zadatak bio dvojak: (i) da organizuju i vode grupu za montažu specifičnog proizvoda

(što je i do tada bio njihov zadatak); i (ii) da budu zaduženi za jedan nalog od momenta kada uđe u proizvodnju do momenta dok gotovi proizvodi ne izađu iz proizvodnje. Pored toga, planirano je da vođe timova budu druga linija rešavanja problema, odmah iza samih radnika. Zbog toga je za njih organizovana posebna obuka, gde su predstavljeni fundamentalni principi lin pristupa, kao i naučni metod u rešavanju problema. Zadatak poslovođa je bio da znanja stečena na obuci prenese radnicima kroz naredne dve radionice.

Predloženo je da aktivno učešće radnika u rešavanju problema bude stimulirano novčano ili kroz slobodne dane, gde bi kriterijum za stimulaciju bio broj predloga koji su ušli u svakodnevnu praksu, koji bi se sumirao na kraju svakog meseca.

Definisanje operativnih performansi kompanije ALPHA

Imajući u vidu elemente vrednosti za korisnika koji su u prethodnim koracima identifikovani kao značajni, odlučeno je da se u prvom prolasku kroz model fokus stavi na praćenje i unapređenje sledećih operativnih performansi:

- Prosečno protočno vreme poslova;
- Procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka; i
- Prosečno vreme kašnjenja u isporuci proizvoda.

U razgovoru sa menadžmentom, a pre detaljnog uvida u postojeći nivo identifikovanih operativnih performansi, definisane su sledeće željene vrednosti operativnih performansi:

- Prosečno protočno vreme ne sme biti duže od dve nedelje;
- Procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka ne sme biti veći od 20%; i
- Prosečno vreme kašnjenja u isporuci ne sme biti duže od 5 dana.

Željeni nivo operativnih performansi je u velikoj meri definisan na osnovu intuicije najvišeg rukovodstva (u ovoj fazi je čest komentar bio da rukovodstvu nisu potrebni precizni podaci, i da tačno mogu da se identifikuju problematična područja). U narednom koraku, kada su prikupljeni i sistematizovani podaci o postojećem stanju u kompaniji, neki od ciljeva su revidirani.

Postojeći sistem prikupljanja podataka je ocenjen kao neefikasan. Kompanija koristi softversko rešenje u koje se svakodnevno ubacuje velika količina podataka. Međutim, mogućnosti izveštavanja su veoma ograničene, i za dobijanje podataka o performansama koje su odabrane za praćenje je neophodno izvršiti veliki broj operacija na sirovim podacima. Zbog toga je odlučeno da se paralelno sa implementacijom modela krene i sa razvojem efikasnijeg sistema prikupljanja i obrade podataka. Razvoj informacione podrške je planiran u nekoliko faza. Prva faza obuhvata pronalaženje rešenja koje će na jednostavan način prikupiti podatke o protočnim vremenima i kašnjenju poslova. U tu svrhu je razvijen spredšit u koji se upisuju osnovni podaci o radnom nalogu:

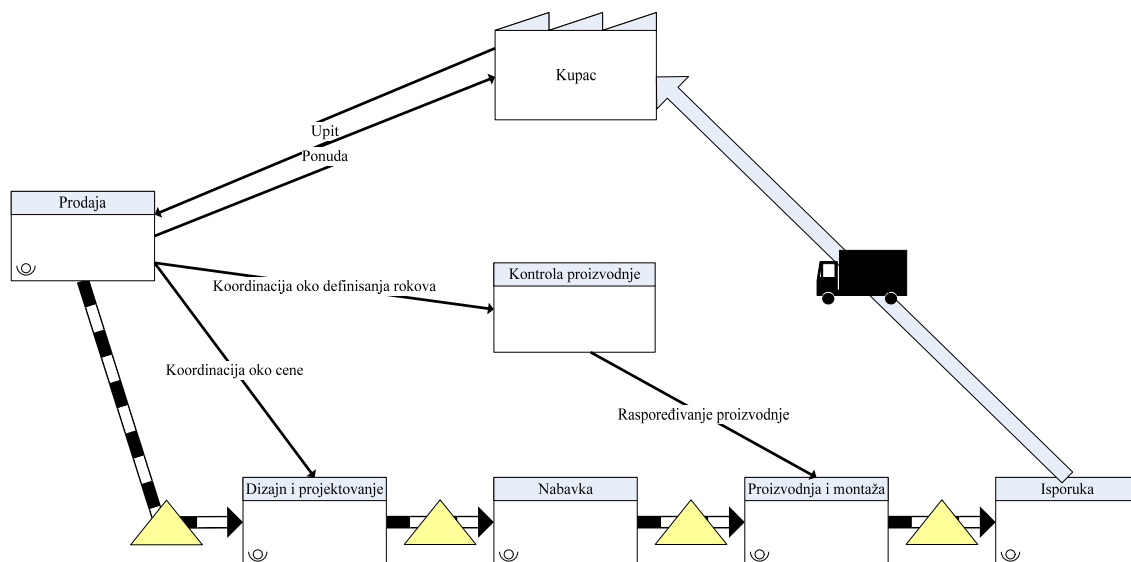
- Redni broj, šifra i verzija radnog naloga;
- Datum otvaranja naloga;
- Tip naloga (dizajn, kalkulacija, reparacija, reklamacija, serija, specifikacija, tehnička dokumentacija, teren i uzorak);
- Naziv klijenta i naziv posla;
- Jedinica mere količine (komad ili komplet) i količina;
- Inicijalni i novi rok isporuke (u slučaju da je rok pomeren, bilo na zahtev klijenta ili na zahtev kompanije);
- Status radnog naloga (čeka na preuzimanje, u radu, završen);
- Datum isporuke; i
- Komentar (slobodna forma, za prijavu problema, predloga i slično).

U narednim fazama bi se softverska podrška dalje razvijala, i uključivala bi prikupljanje i praćenje podataka za svaku fazu internog lanca snabdevanja (prodaja, dizajn i projektovanje, nabavka, proizvodnja i montaža, isporuka) kao i za svaku fazu proizvodnje.

Ova faza primene modela implementacije lin pristupa, zajedno sa razvojem spredšita za prikupljanje podataka, je u kompaniji ALPHA trajala nedelju dana.

Snimak i analiza postojećeg stanja

Na najvišem nivou apstrakcije je prepoznato pet faza stvaranja vrednosti za korisnika, koje su predstavljene kroz pet organizacionih jedinica: prodaja, dizajn i projektovanje, nabavka, proizvodnja i montaža i isporuka. Postojeći način rada je prikazan na Slici 53.

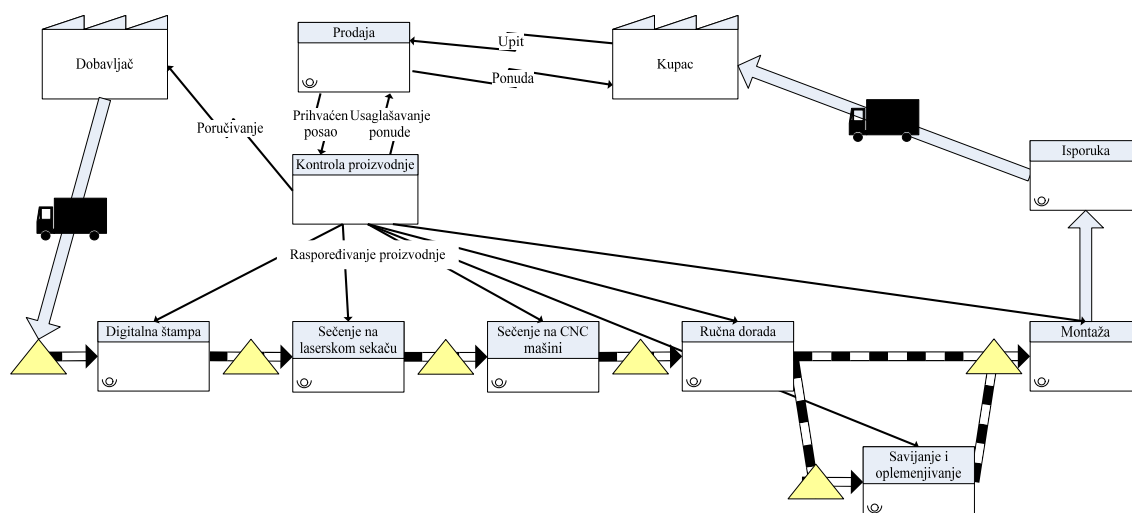


Slika 53. Tok stvaranja vrednosti na najvišem nivou dekompozicije

Svaka faza ima svoj skup karakteristika, ciljeva i ograničenja, i ne postoji centralni sistem planiranja koji bi kontrolisao sve faze i optimizovao čitav tok stvaranja vrednosti. Između svake faze postoji red čekanja, u kojem radni nalog provede neko vreme, pre nego što se nastavi sa njegovom realizacijom u narednoj fazi. Svaka faza ima autonomiju da planira svoje aktivnosti, kako bi optimizovala svoje ciljeve. To znači da prirodan redosled realizacije naloga može da se naruši ukoliko se proceni da će drugačiji redosled efikasnije koristiti resurse u određenoj fazi. Postojanje redova čekanja između faza omogućava ovakav način rada, gde veći red čekanja predstavlja više mogućnosti da se posao organizuje na način koji će dovesti do lokalnog optimuma. Sa druge strane, dugački redovi čekanja povećavaju protočno vreme, i otežavaju postizanje globalnog optimuma. Posao se tipično odvija tako što u prodaju stigne zahtev za proizvodima od strane kupca. Prodaja konsultuje kontrolu proizvodnje oko izvodljivosti rokova (posledica lokalne optimizacije je da prodaja prihvata posao čak i u situacijama u kojima proizvodnja proceni da je rok previše kratak), i dizajn i projektovanje oko tehničke izvodljivosti i cene proizvoda. Procene rokova, izvodljivosti

i cene su najčešće okvirne, bez dovoljnog uvida u trenutnu opterećenost proizvodnje. Dizajn i projektovanje, pod pritiskom kratkih rokova, često daju neutemeljene procene, i generišu rešenja koja su nepotrebno složena, što dovodi do prekomerne obrade u proizvodnji i montaži. Nakon prihvatanja posla, radni nalog se gura u narednu fazu, gde čeka da bude realizovan. Tok informacija nije precizno definisan, i česte su situacije u kojima nije poznato gde se određene informacije mogu pronaći, odnosno kome se trebaju proslediti. To otežava deljenje znanja, i rešavanje problema koji se ponavljaju.

Fokus primene modela implementacije lin pristupa je bio na proizvodnji, konkretno na liniji za obradu pločastih materijala. Linija za obradu pločastih materijala ima 6 faza: digitalna štampa (1), sečenje na laserskom sekaču (2), sečenje na CNC sekaču (3), ručna dorada (4), savijanje i oplemenjivanje (5) i montaža (6). Tok stvaranja vrednosti je složen, s obzirom da je svaki redosled operacija u usmerenom toku je moguć. Kako nije racionalno analizirati svaku kombinaciju faza proizvodnje, odlučeno je da se napravi prikaz dve dominantne kombinacije faza, a to su 1-2-3-4-5-6 i 1-2-3-4-6. Prikaz toka stvaranja vrednosti u fazi proizvodnje je dat na Slici 54.

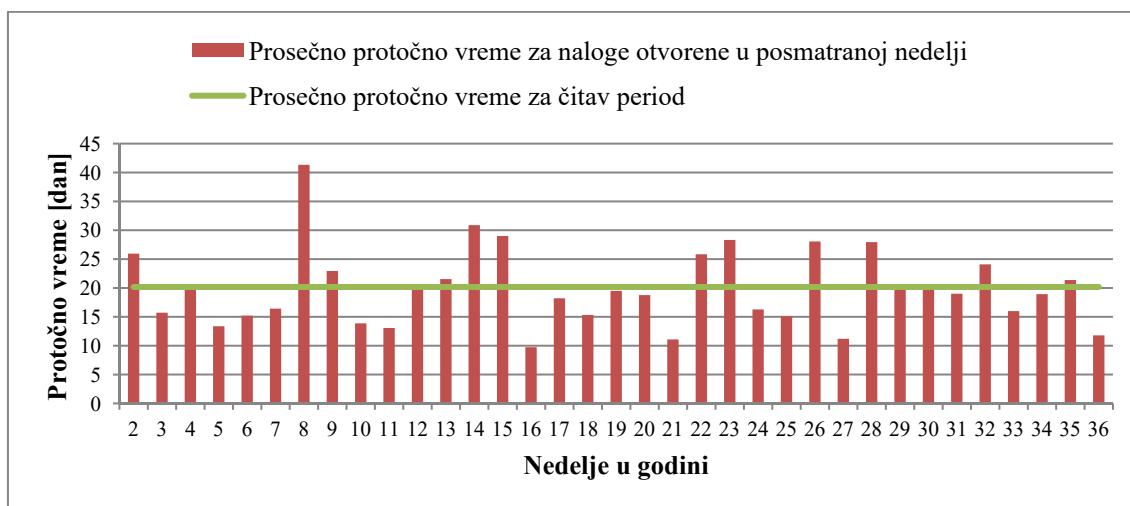


Slika 54. Tok stvaranja vrednosti na liniji za obradu pločastih materijala

Način rada na visokom nivou apstrakcije se može preneti i na nivo proizvodnje. Svaka faza se u manjoj ili većoj meri posmatra kao zasebna celina, sa sopstvenim specifičnostima i ciljevima, i ispred svake faze postoji red čekanja gde posao provodi određeno vreme čekajući da bude obrađen. Kao i na globalnom nivou, i ovde redovi čekanja daju autonomiju da se poslovi grupišu, dele ili im se menja redosled na način za

koji se smatra da je najbolji sa stanovišta lokalnih optimuma, iako postoji okvirni plan koji definiše asistent direktora proizvodnje. Proizvodnja se gura sa jedne na drugu fazu, gde se sva kašnjenja koja se jave kompenzuju u montaži, u kojoj se posao često organizuje u tri smene. Tok informacija je netransparentan, i često jednosmeran, između pojedinih faza i kontrole proizvodnje (direktora proizvodnje i direktora procesa i njihovih asistenata). Proizvodnju kontroliše direktor proizvodnje, ali je njegova uloga bliža ulozi poslovođe, s obzirom se njegov posao najčešće svodi na dispečiranje proizvodnje, obezbeđivanje potrebnog materijala, rešavanje akutnih problema i slično.

Podaci za snimak i analizu trenutnog nivoa operativnih performansi su prikupljeni u periodu od početka januara do kraja avgusta 2015. godine. Podaci su prikupljeni na nivou pojedinačnih radnih naloga, ali su zbog preglednosti prikazani na nivou proseka nedelje u kojoj su radni nalozi otvoreni. U postojećem stanju je analizirano 429 radnih naloga (nisu uzeti u obzir nalozi koji se tiču rada na terenu, angažovanja u magacinu, izrade tehničke dokumentacije i slično). Na Slici 55 je dat prikaz kretanja protočnih vremena u nedeljama koje predstavljaju postojeće stanje (od prve do trideset šeste nedelje u 2015. godini), kao i prosečno protočno vreme za čitav period.

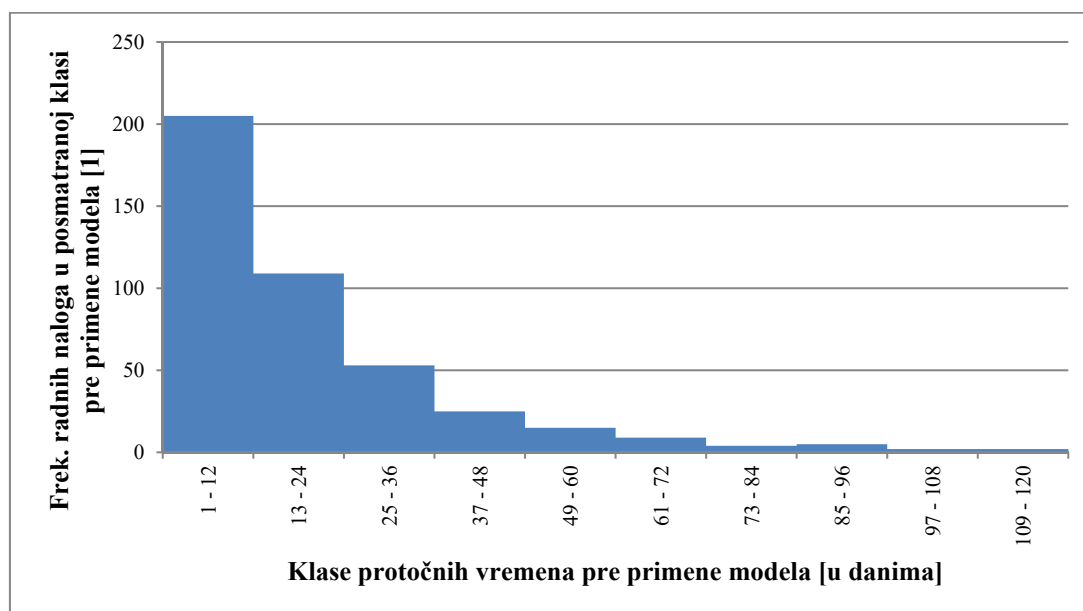


Slika 55. Prosečno protočno vreme pre primene modela

Prosečno protočno vreme za postojeće stanje je iznosilo 20,17 dana. Sa Slike 55 se može videti da je disperzija protočnih vremena vrlo velika, i da protočna vremena značajno variraju oko prosečne vrednosti za posmatrani period. Dodatnom analizom je utvrđeno da neto vreme, odnosno vreme kada se na proizvodu nešto zaista radi, iznosi

nešto više od 7 dana. Ovde je identifikovano drugo očigledno rasipanje, a to je čekanje, pošto proizvod provede oko 13 dana čekajući. Razlozi za čekanje mogu biti razni, a zbog nepostojanja precizne evidencije nije bilo moguće utvrditi koliko je čekanje ispred svake faze u proizvodnji. Kroz razgovor sa rukovodstvom i zaposlenima je zaključeno da je jedan od uzroka čekanja nekontrolisano puštanje novih radnih naloga u proizvodnju, što može dovesti do visokog nivoa zaliha nedovršene proizvodnje, posebno u periodima velike tražnje. Nekontrolisano puštanje novih radnih naloga u proizvodnju predstavlja preopterećenje, odnosno *muri*. Procenjeno je da svakog dana u proseku u proizvodnji bude oko 15 otvorenih radnih naloga.

U cilju potpunijeg sagledavanja protočnog vremena u postojećem stanju, urađena je analiza distribucije protočnih vremena, koja je prikazana na Slici 56.

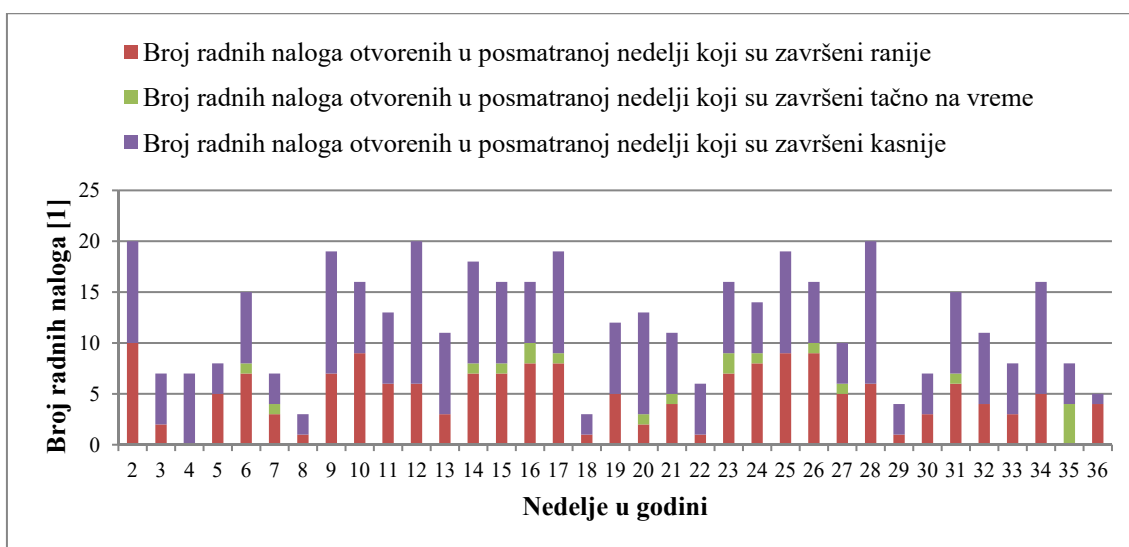


Slika 56. Distribucija protočnih vremena pre primene modela

Interval protočnih vremena u postojećem stanju se kretao od 1 dana do 116 dana. Zbog preglednosti prikaza, ceo interval je podeljen na klase korišćenjem Sturges-ovog pravila. Sa slike se vidi da najveći broj naloga (nešto više od 70%) spada u prve dve klase, odnosno ima protočno vreme koje je manje od 24 dana. Međutim, primećuje se da je sam interval dugačak, što govori o velikoj varijaciji u protočnom vremenu, i da postoje nalozi sa protočnim vremenom koje je duže od dva meseca (četiri radna naloga

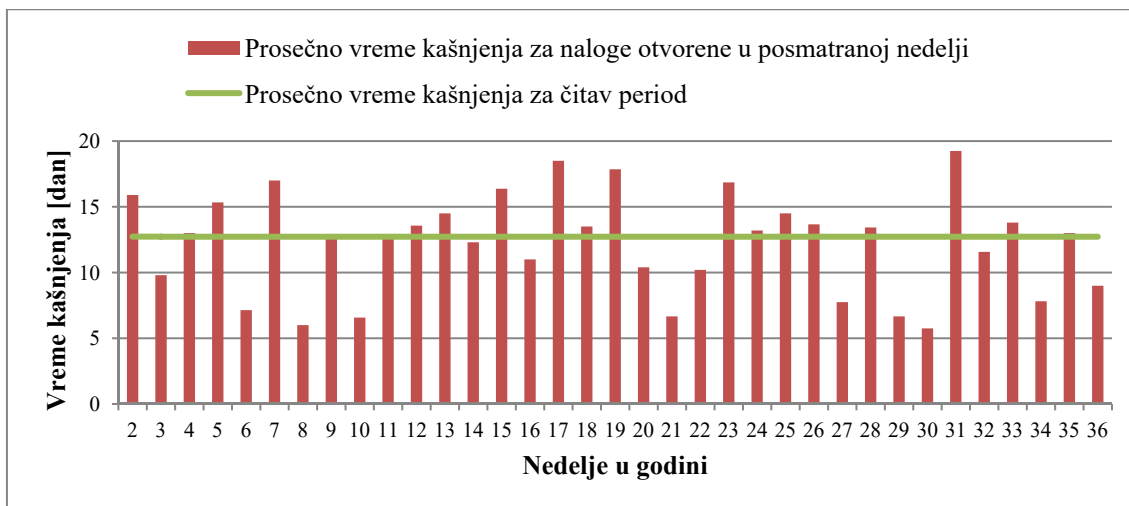
imaju protočno vreme koje je duže od 100 dana, dok najduže protočno vreme iznosi 116 dana).

Na Slici 57 je dat prikaz radnih naloga koji su završeni ranije, tačno na vreme, i kasnije u odnosu na rok koji je dogovoren sa kupcem. Podaci su takođe prikupljeni po radnom nalogu, ali su zbog preglednosti prikazani na nivou nedelje u kojoj su radni nalozi otvoreni. Analizom je utvrđeno da procenat radnih naloga koji su završeni nakon isteka roka koji je dogovoren sa korisnikom iznosi 55,5%, dok je 44,5% radnih naloga završeno ranije ili tačno na vreme. Procenat je izračunat na osnovu raspoloživih podataka, ali se mora uzeti sa rezervom, pošto se ne vodi precizna evidencija o uzrocima kašnjenja. Tako je kroz razgovor sa rukovodstvom i radnicima zaključeno da je krivac za oko 20% kašnjenja sam klijent, u slučajevima kada na vreme ne dostavi potrebnu dokumentaciju i informacije. Zbog konzistentnosti, procenat kašnjenja je analiziran za sve uzroke kašnjenja podjednako, i u postojećem i u novom stanju (iako se u novom stanju vodi evidencija o uzrocima kašnjenja). Sa slike se može primetiti da je gotovo u svakoj nedelji broj naloga koji su završeni sa kašnjenjem jednak ili veći broju naloga koji su završeni na vreme. Takođe se može primetiti da je broj naloga koji su završeni tačno na vreme mali, ali je zaključeno da to nije veliki problem za kompaniju, pošto kupci najčešće pristaju da se gotovi proizvodi isporuče pre definisanog roka.



Slika 57. Broj radnih naloga koji su završeni ranije, tačno na vreme i kasnije, pre primene modela

Na Slici 58 je dat prikaz prosečnog vremena kašnjenja za radne naloge u postojećem stanju. Kao i kod prethodnih grafika, prikaz je dat po nedeljama, dok su podaci prikupljeni na nivou pojedinačnih radnih naloga.



Slika 58. Prosečno vreme kašnjenja pre primene modela

Prosečno kašnjenje u je postojećem stanju iznosilo 12,73 dana, gde je za značajan procenat naloga, oko 22%, vreme kašnjenja bilo duže od prosečnog vremena kašnjenja. Najduže kašnjenje koje je evidentirano u postojećem stanju je iznosilo 39 dana. Sa Slike 58 se takođe može videti da je u 18 nedelja, što iznosi polovinu posmatranog perioda, prosečno vreme kašnjenja za naloge otvorene u posmatranoj nedelji bilo veće od prosečnog vremena kašnjenja.

Prikupljeni podaci su analizirani od strane rukovodstva, i zaključeno je da je stanje lošije nego što se mislilo. Performanse nisu na željenom nivou, a neke su značajno udaljene od željenog stanja. Zbog toga su očekivanja ublažena, a željeni nivo operativnih performansi je redefinisani u skladu sa dobijenim rezultatima:

- Željeno prosečno protočno vreme je i dalje ostalo dve nedelje;
- Procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka treba svesti na ispod 50%; i
- Prosečno vreme kašnjenja u isporuci ne sme biti veće od nedelju dana.

Među rukovodstvom je i dalje postojao stav da se inicijalno definisani nivo operativnih performansi može postići, ali je odlučeno da se željeni nivo ipak snizi, kako bi se

osiguralo postizanje rezultata i kako bi se zaposleni motivisali za dalji rad na unapređenjima.

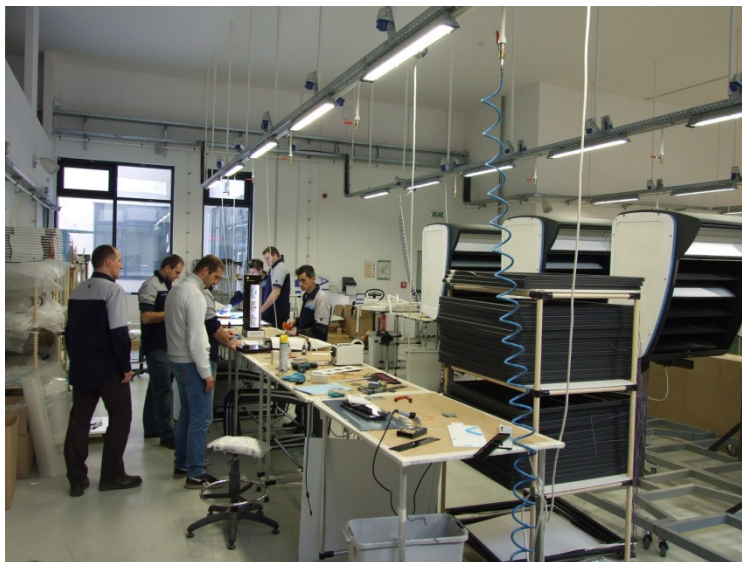
Kao problematična područja su identifikovani dizajn i projektovanje proizvoda i proizvodnja i montaža. Dizajn i projektovanje su okarakterisani kao kreativni procesi, i smatralo se da će eliminisanje varijacija u njemu biti otežano, pa je fokus stavljen na proizvodnju i montažu. U zavisnosti od postignutih rezultata, unapređenje procesa dizajniranja i projektovanja proizvoda bi bili tretirani u narednim iteracijama primene modela.

Stabilizacija procesa

Značajan izvor varijacija u proizvodnji predstavlja dizajn i projektovanje proizvoda. Rad na dizajniranju i projektovanju proizvoda je nestrukturiran, i vreme potrebno za dizajn i projektovanje nije lako predvideti, što doprinosi povećanju varijacija u dolasku novih poslova u proizvodnju. Kako bi se smanjio uticaj varijacija u dizajnu i projektovanju proizvoda na proizvodnju, odlučeno je da se projektovanje i proizvodnja odvoje, tako što će se regulisati puštanje novih radnih naloga u proizvodnju. Detaljni mehanizmi odvajanja proizvodnje od projektovanja će biti prikazani u narednim koracima. Pored toga, izrada uzoraka za potrebe projektovanja je bila nestrukturirana, tako što je inženjer u svakom trenutku mogao da dođe u proizvodnju sa zahtevom da se izradi uzorak, što je ometalo radnike u izvršenju drugih poslova i unosilo dodatne varijacije. Kako bi se smanjio uticaj ovih varijacija, odlučeno je da se uzorci puštaju u proizvodnju dva puta u toku dana, u tačno određenom vremenskom periodu (od 9 do 11 časova, i od 15 do 17 časova, odnosno na početku prve i druge smene).

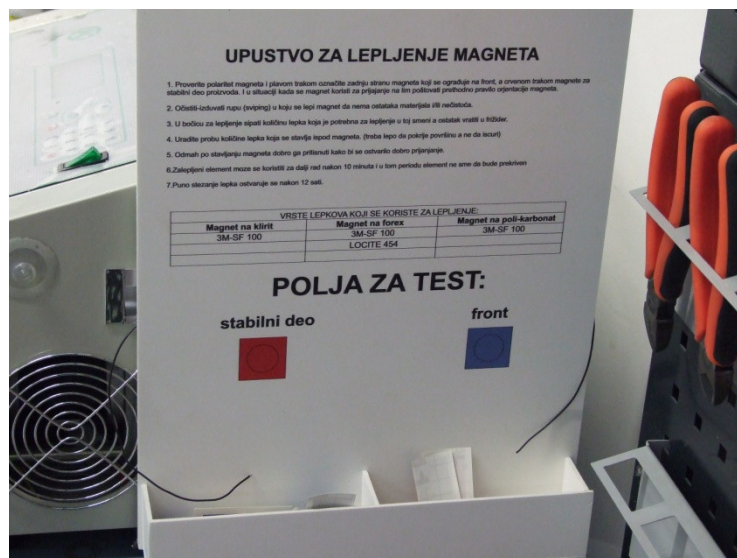
Na samom početku je promenjena uloga vođe tima, kome su dodeljena nova zaduženja i odgovornosti. Prethodno je vođa tima, koji je biran iz redova najiskusnijih radnika, bio odgovoran samo za montažu. Prema novom načinu rada, vođa tima preuzima brigu o radnom nalogu onog trenutka kada radni nalog uđe u proizvodnju, formira tim za montažu, organizuje liniju za montažu, i prati nalog kroz sve faze proizvodnje i odgovara za njegovu realizaciju. Redosled operacija u montaži je fleksibilan, a fleksibilnost linije za montažu je obezbeđena korišćenjem pokretnih stolova, koji lako mogu da se postave u odgovarajući raspored, a prema zahtevima proizvoda koji se

montira. Materijal za montažu se smešta na pokretne police, koje lako mogu da se pomeraju sa jedne pozicije u montaži na drugu. Prikaz linije za montažu je dat na Slici 59.



Slika 59. Prikaz fleksibilnog rasporeda stolova u montaži

U kompaniji ALPHA su postojale standardne procedure rada za operacije koje imaju veliki udeo mašinskog rada (digitalna štampa, sečenje laserom i sečenje na CNC sekaču), ali nisu bile ažurne i lako dostupne radnicima. Za operacije montaže nisu postojale standardne procedure, pošto se smatralo da nema svrhe standardizovati rad na montaži, jer se svaka montaža razlikuje od prethodne. U sadarnji sa radnicima se pristupilo unapređenju postojećih standardnih procedura rada. Unapređenje procedure sadrže tri dela: (i) postupak pripreme sredstava za rad i radnog mesta; (ii) postupak izvođenja operacija na radnom mestu; i (iii) postupak održavanja sredstava za rad i radnog mesta. Posebna pažnja je posvećena standardizaciji operacija u montaži, s obzirom da je tu rotacija radnika najveća, i da postoji velika fluktuacija zaposlenih. Standardizacija operacija u montaži je urađena tako što je montaža podeljena na manje elemente (različite vrste spajanja elemenata proizvoda), za koje je propisan standardni metod rada. Gotove procedure su distribuirane na radna mesta, a najznačajniji delovi procedura su skraćeni, i izloženi u zoni izvođenja operacija. Na Slici 60 je prikazan primer deo procedure montaže koji predstavlja uputstvo za lepljenje magneta na različite vrste materijala.



Slika 60. Primer uputstva izloženog u zoni izvođenja operacije

Uputstvo sadrži korake koje je potrebno realizovati za određenu operaciju, smernice za obezbeđivanje kvaliteta proizvoda, materijal koji se koristi prilikom izvođenja operacije, načine obeležavanja ugrađenih delova i slično.

Sličan postupak je sproveden i za potrebe preventivnog održavanja mašina, gde je pored svake mašine stavljeno uputstvo o načinu održavanja mašine. Na Slici 61 je dat prikaz tabele održavanja mašina, kao i izvod iz tabele koji se nalazi kod same mašine.



Slika 61. Tabela održavanja mašina i izvod iz tabele održavanja pored mašine

Aktivnosti na održavanju mašina su podeljene na dnevne, nedeljne i mesečne, i obeležene su različitim bojama. Pored svake mašine, ispod izvoda iz tabele održavanja mašina, je postavljen izveštaj u koji se upisuju aktivnosti koje su urađene na mašini,

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi neregativnih proizvodnih sistema

kako bi se obezbedilo praćenja održavanja opreme. Pojedine mašine su, zbog složenosti, zahtevale detaljnija uputstva za održavanje, pa su za njih izrađena posebne procedure, kao što je prikazano na Slici 62.

S.B. Operacija						S.B. Operacija					
Svakodnevno		Na 15 do 30 dana zavisno od uslova rada	Na 2 do 6 meseci zavisno od radnih sati	Svakih 6 meseci	Svaka godine ili 2000 radnih sati	Svakodnevno		Na 15 do 30 dana zavisno od uslova rada	Na 2 do 6 meseci zavisno od radnih sati	Svakih 6 meseci	Svaka godine ili 2000 radnih sati
1.	Čišćenje od otpada i ulja	✓				8.	Provera i po potrebi zamena uljane ragulate		✓		
2.	Čišćenje sistema (čišćenje uljane od otpada materijala)	✓				9.	Čišćenje i podmazivanje pokretnih delova mašine		✓		
3.	Čišćenje ležajeva na spoljne strane (demontaža)	✓				10.	Zamena ložnica u razvodnom ventilu			✓	
4.	Provera i podešavanje uljane mašine na toplotu na toploti mašine	✓				11.	Zamena filtera (pogod mašine)			✓	
5.	Automatsko podešavanje filtera protiv	✓				12.	Zamena filtera za komprimovani vazduh				✓
6.	Čišćenje opreme i opreme		✓			13.	Provera i servis hidrauličkog sistema			✓	
7.	Čišćenje prethodnog filtera i elektronskog sistema		✓			14.	Dispozicija ispravnog sistema				✓

Slika 62. Detaljno uputstvo za održavanje mašina

Uputstvo sadrži spisak operacija koje treba uraditi u cilju preventivnog održavanja mašine, kao i vremenske periode u kojima je potrebno izvršiti operacije (svakodnevno, na 15 ili 30 dana u zavisnosti od uslova rada, na 2 do 6 meseci, na godinu dana ili 2000 radnih sati, na 4 godine ili 15000 sati). Svaka operacija je praćena fotografijom dela koji je potrebno održavati i načina na koji ga treba održavati.

Podešavanje mašine je rađeno tako što je radnik nakon završetka operacije praznio mašinu, čistio je i odlagao gotove komade, donosio materijal za naredni posao, učitavao program u mašinu, menjao alat (demontaža alata i montaža novog, ukoliko je potrebno), ubacivao materijal u mašinu i puštao je u rad. Sve ove aktivnosti se obavljaju dok mašina stoji. Urađena je analiza postojećeg načina podešavanja mašine, i aktivnosti su razdvojene na unutrašnje i spoljašnje. Kao unutrašnje aktivnosti su identifikovane praznjenje i punjenje mašine, čišćenje mašine i demontaža i montaža alata. Kao eksterne aktivnosti su identifikovane donošenje materijala za naredni posao, učitavanje programa za naredni posao i odlaganje gotovih komada. Propisano je da se eksterne aktivnosti obavljaju dok se izrađuje prethodni (donošenje materijala i učitavanje programa),

odnosno naredni proizvod (odlaganje gotovih proizvoda). Nov način podešavanja alata je predstavljao sastavni deo unapređenih standardnih procedura rada.

Interni kvalitet je bio problematičan, a radnici najčešće nisu prijavljivali probleme sa kvalitetom do momenta dok elementi ne stignu u montažu. Neprijavljivanje problema se u nekim situacijama smatralo i izrazom kolegijalnosti, jer je kasno identifikovanje neusaglašenosti najčešće rešavano „gašenjem požara“, a ne i ispitivanjem uzroka neusaglašenosti. Zbog toga je kontrola kvaliteta udvostručena: (i) svaki radnik je nakon završene operacije proveravao rezultate rada i popunjavao ček listu; (ii) svaki radnik je prilikom prijema dela na obradu proveravao rezultate sa prethodne operacije i popunjavao ček listu. Uspostavljena je procedura kontrole internog kvaliteta, tako što je za svaku fazu propisano šta se kontroliše sa prethodne faze, šta se kontroliše nakon završenog posla na posmatranoj fazi, kome se prijavljuju neusaglašenosti, na koju fazu dalje ide posao, i slično. Ukoliko se javi problem sa kvalitetom, rešava se direktnom komunikacijom između radnika koji je predao loš komad i radnika koji je primio loš komad. Ukoliko problem ne može da se reši direktnom komunikacijom, konsultuje se vođa tima, koji je zadužen za praćenje radnog naloga od ulaska u proizvodnju do izlaska gotovih proizvoda. Ukoliko je procena da je problem nastao zbog neadekvatne tehničke dokumentacije, popunjava se izveštaj u spreadu koji automatski generiše i šalje e-poruku inženjeru koji je bio zadužen za projektovanje proizvoda. Za finalnu kontrolu je odgovoran vođa tima, koji svojim potpisom garantuje da je proizvod u skladu sa zahtevima kupca. Pored toga, vođa tima na proizvod lepi nalepnicu, koja kupcu govori da je kvalitet proizvoda usaglašen sa zahtevima.

Problemi sa kvalitetom su nastajali i u montaži, gde se dešavalo da se zbog neadekvatnog čitanja tehničke dokumentacije proizvod montira pogrešno. Neadekvatno čitanje tehničke dokumentacije je posledica različitog nivoa tehničke pismenosti radnika. Zato je dogovoreno da se montaži, uz tehničku dokumentaciju, dostavlja i računarski 3D model proizvoda koji se montira, kako bi se olakšala vizuelna kontrola kvaliteta montaže.

U kompaniji postoji prethodno iskustvo sa povećanjem uredenosti radnih mesta primenom 5S metoda. Rezultati su bili ograničeni, pošto su radnici mislili da je 5S sam sebi svrha, i da nisu dovoljno uvažene njihove ideje kod uređenja radnih mesta koje bi

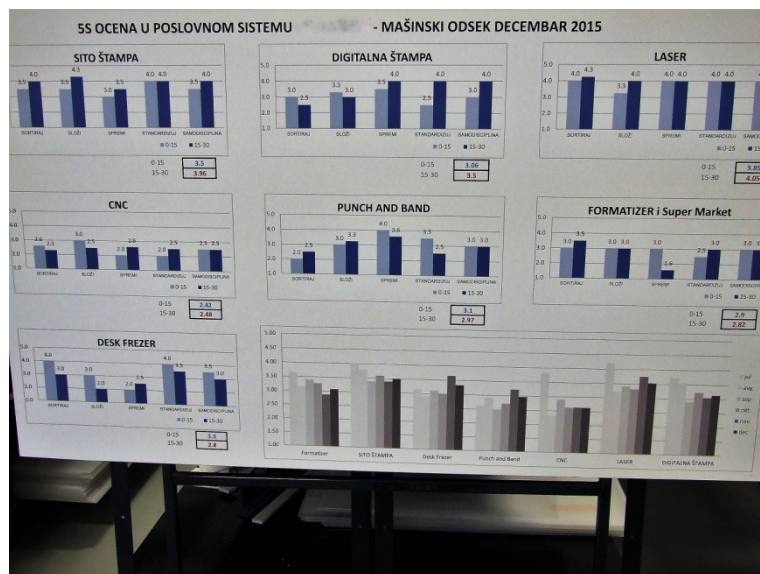
sistem učinile funkcionalnijim. Na primer, potrošni materijal (zavrtnji, navrtke, podloške i slično) je sklonjen sa radnih mesta, jer se smatralo da smanjuje njegovu uređenost. Zbog toga je radnik, prilikom izvođenja operacije spajanja, bio prinuđen da napusti radno mesto i ode do magacina sa materijalom (koji se nalazi u suterenu) kako bi obezbedio materijal za spajanje. Sa radnicima su analizirani načini na koje se uređenost radnih mesta može poboljšati, a da se ne izgubi na funkcionalnosti, gde su radnici davali spisak materijala i opreme za koji su smatrali da su neophodni na radnom mestu. Posebna pažnja je posvećena uređenju međufaznih skladišta. U postojećem stanju su se materijal, poluproizvodi i komponente odlagali bez definisanog reda, što je produžavalo vreme pronalaženja odgovarajućih proizvoda na kojima je trebalo izvršiti narednu operaciju. Predloženo je da se skladišta vizuelno obeleže, i da se materijal, poluproizvodi i komponente odlažu na za to definisana mesta, kao što je prikazano na Slici 63.



Slika 63. Međufazno skladište u postojećem stanju i novi način vizuelnog obeležavanja međufaznih skladišta

Uređenost radnih mesta se proverava i ocenjuje na pola meseca i na mesec dana ocenom od 1 do 5. Prosečna ocena za svako radno mesto se računa i prikazuje na mesečnom nivou, kako bi mogao da se prati trend rezultata uređivanja radnih mesta. Izveštaji o oceni sprovođenja 5S programa se ističu na vidnom mestu u radionici, i distribuiraju elektronski svim zaposlenima. Način ocenjivanja i praćenja sprovođenja 5S programa je dat na Slici 64.

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi neregativnih proizvodnih sistema



Slika 64. Ocenjivanje i praćenje sprovođenja 5S programa povećanja urednosti radnih mesta

Neformalni uticaj prodaje i projektovanja je identifikovan kao značajan izvor varijacija u proizvodnji. Zaposleni u prodaji i projektovanju su svojevolumno, a u dogovoru sa nekim radnicima u proizvodnji, davali prioritete određenim radnim nalogima za koje su procenjivali da su važni, što je dovođilo do narušavanja prirodnog toka materijala u proizvodnji, kašnjenja drugih radnih naloga, gubitka radnih naloga i slično. Dogovoreno je da svaku buduću intervenciju od strane prodaje ili projektovanja mora da odobri direktor proizvodnje, uz obrazloženje zašto se određenom radnom nalogu menja prioritet.

Obuka zaposlenih je sistematizovana, sa planom da se održava u periodima niskog opterećenja, odnosno smanjene tražnje. Prioritet je dat obuci radnika u ručnoj doradi i montaži, pošto je rotacija radnika u tim fazama najveća, pa je i potreban širok skup znanja. Takođe, fluktuacija radnika u ovim fazama je velika, i nakon odlaska iskusnih radnika dolaze radnici sa malo iskustva, za koje je potrebno organizovati posebnu obuku. Radnicima se na obuci prezentira standardni skup znanja, ali i problemi koji su primećeni u ranijim periodima, kao i načini da se problemi reše. Procena je da je ovde ostvaren veliki napredak, s obzirom da su se ranije problemi rešavali u uskom krugu ljudi (obično zaposleni koji je primetio problem pokušava da reši problem u direktnoj komunikaciji sa direktorom proizvodnje ili inženjerima), a da se nije formirala baza

znanja koja će omogućiti da se isti problemi u budućnosti ne dešavaju, ili da se, ukoliko se dogode, lakše reše.

Unutrašnji transport nije razmatran, s obzirom da se radni centri na maloj udaljenosti jedni od drugih, pa je vreme koje materijal provede u transportu zanemarljiv. Raspored opreme takođe nije razmatran u detaljima, ali je zaključeno da postoji prostor da se on unapredi. Ovo posebno važi za liniju za obradu lima, gde se komadi koji su obrađeni na panč presi ili savijačici šalju na plastifikaciju koja se nalazi u suterenu, a nakon plastifikacije se vraćaju na prvi sprat na montažu.

Stabilizacija procesa je u kompaniji ALPHA inicijalno trajala tri nedelje, ali je rad na stabilizaciji procesa nastavljen i u narednim koracima primene modela, a rešenja koja su predložena u ovoj fazi su usavršavana i u periodu nakon što je prva iteracija primene modela implementacije lin pristupa završeva (u novom stanju).

Upravljanje baferima

Vremenski bafer je ocenjen kao datost, pošto se rokovi isporuke u najvećem broju slučajeva definišu eksterno, od strane samog kupca. Zaključeno je da verovatno postoji prostor da se aktivnije upravlja vremenom (na primer, povećanjem cene ukoliko kupac traži izuzetno karak rok, ili ukoliko poštovanje rokova zahteva podešavanja kapaciteta kroz dodatne smene ili prekovremeni rad, ili podugovaranje dela posla), ali da ono u tom trenutku ne predstavlja prioritet.

Zalihe gotovih proizvoda ne postoje, pošto se proizvodi po porudžbini. Zalihe sirovog materijala se drže na relativno niskom nivou, i čine ih materijali koji se često koriste u proizvodnji (foreks, klirit, polikarbonati i slično).

Zalihe nedovršene proizvodnje mogu značajno da variraju, u zavisnosti od tražnje, odnosno opterećenja proizvodnje. U periodima velike tražnje, dešavalo se da ispred nekih radnih centara bude zaliha nedovršene proizvodnje za 10 do 14 dana. Ovo je posebno bio slučaj u montaži, s obzirom da montaža predstavlja završnu fazu za veliki broj poslova. Veliki nivo zaliha nedovršene proizvodnje je otežavao utvrđivanje statusa radnih naloga i pojačavao zahteve za dispečiranjem. Dešavalo se i da se radni nalozi izgube, odnosno da nije moguće utvrditi kakav je trenutni status određenog posla.

U razgovoru sa direktorom proizvodnje je zaključeno da je određeni nivo zaliha nedovršene proizvodnje neophodan, kako bi se kompenzovalo prenošenje varijacija sa jednih radnih centara na druge. Dogovoreno je da se maksimalni nivo zaliha nedovršene proizvodnje, odnosno maksimalno opterećenje radnih centara, za početak ograniči na 3 dana posla. Granica je postavljena proizvoljno, uz konsultacije sa direktorom proizvodnje i radnicima u proizvodnji, sa planom da se sistemom pokušaja i grešaka u budućnosti dovede na realan nivo (koji može biti veći ili manji od 3 dana). Odlučeno je da se opterećenje drži ispod maksimalnog definisanog nivoa na dva načina:

- Kontrolom ulaza, odnosno puštanja novih naloga u proizvodnju, ukoliko definisani rok isporuke dozvoljava da se puštanje novog radnog naloga odloži; i
- Kontrolom izlaza, odnosno kratkoročnim podešavanjima kapaciteta kroz uvođenje dodatnih smena, prekovremeni rad, ili podugovaranje posla ili dela posla.

Prvi način je ocenjen kao povoljniji, ali i teže izvodljiv, s obzirom da su rokovi najčešće tesno definisani, uz minimalan prostor za njihovo pomeranje. Podešavanja kapaciteta su i ranije često korišćena kao metod kontrole izlaza, ali su rađena nesistemske, i u veoma kratkim rokovima. Na primer, nije redak slučaj da se dodatna smena uvede danas za sutra, ili da se prekovremeni rad uvede na samom kraju smene. Ovakav način podešavanja kapaciteta je dovodio do nezadovoljstva radnika, i značajno uticao na fluktuaciju. Praćenje maksimalnog opterećenja proizvodnje je omogućilo da podešavanje kapaciteta postane planska kategorija, gde se pri razmatranju puštanja novog radnog naloga u proizvodnju, a na osnovu podataka o opterećenju, zna da li je i u kojoj meri potrebno podešavanje kapaciteta. Ovo ima značajnog uticaja i na moral zaposlenih, s obzirom da im je omogućeno da efikasnije planiraju radnu nedelju. Podugovaranje poslova se u kompaniji ALPHA smatra za nepopularnu meru, i koristi se samo ukoliko nije moguće naći rešenje na drugi način.

Sistem praćenja opterećenja radnih centara je u razvoju, i procena opterećenja je i dalje u velikoj meri zasnovana na iskustvu i procenama radnika i direktora proizvodnje. Međutim, zaključeno je da je praćenje opterećenja radnih centara i proizvodnje u celini, čak i u rudimentarnom obliku koji je u ovom slučaju primenjen, značajno uticao na povećanje transparentnosti proizvodnje. Problemi su lakše otkrivani, i brže rešavani,

dok je praćenje toka materijala olakšano. U razgovoru sa rukovodstvom je dogovoreno da se, u sklopu razvoja sistema za informatičku podršku proizvodnji, sistematizuje način procene opterećenja, i to na nivou radnih centara. Procenjeno je da će dalji rad na ovome u velikoj meri zavisiti od rezultata ostvarenih u prvoj iteraciji primene modela.

Pretpostavka je da je stabilizacija procesa koja je urađena u prethodnom koraku uticala na oslobađanje određenog procenta kapaciteta, kroz smanjenje efektivnog vremena obrade, kao i standardne devijacije u vremenu obrade. U kompaniji se ne vode precizni podaci o stepenu korišćenja kapaciteta, i za ovu tvrdnju ne postoje precizni podaci koji bi je potvrdili ili opovrgnuli, pa ona ostaje na nivou pretpostavke. Teorijski, stabilizacija procesa bi trebalo da dovede i do smanjenja nivoa zaliha nedovršene proizvodnje (bez aktivne kontrole zaliha), odnosno do smanjenja redova čekanja ispred radnih centara, ali ni ovde u kompaniji ALPHA ne postoje precizni podaci koji bi ovu tvrdnju mogli eksplicitno da dokažu.

Analiza bafera i mogućnosti njihovog upravljanja su urađeni periodu od nedelju dana, uz plan da se sa aktivnim upravljanjem baferima nastavi i u novom stanju, posebno kroz sistem kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje. Ono što je primećeno u ovom koraku je da su neki radnici sa nezadovoljstvom gledali na ograničavanje nivoa zaliha nedovršene proizvodnje, smatrajući da im se na taj način oduzima autonomija koju su imali prilikom izbora narednog radnog naloga na kojem će raditi.

Kontrolisano guranje/vučenje proizvodnje

U ranijim koracima primene modela je zaključeno da je neophodno odvojiti proizvodnju od projektovanja, tako što će se novi radni nalozi kontrolisano puštati u proizvodnju, umesto da se puštaju istog trenutka kada su spremni. Na kraju svakog radnog dana je sastavlja skup poslova koji su razmatrani za puštanje narednog dana.

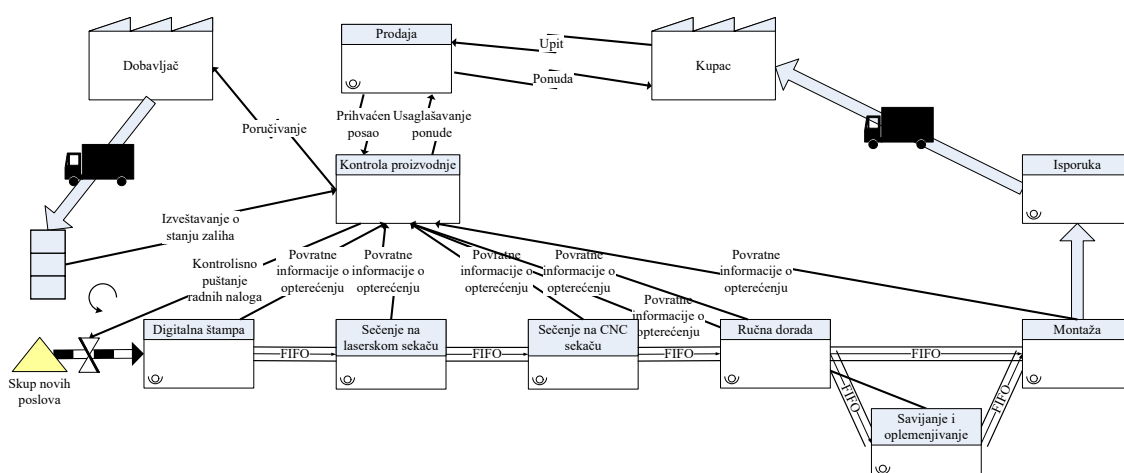
Za kontrolu puštanja poslova u proizvodnju su definisana dva signala:

- Maksimalni nivo opterećenja, odnosno maksimalni nivo zaliha nedovršene proizvodnje u montaži, pošto je procenjeno da montaža predstavlja usko grlo jer se u nju sliva najveći broj poslova. Nivo opterećenja kontroliše guranje poslova u proizvodnju; ukoliko bi puštanje novog radnog naloga dovelo do prekoračenja

maksimalnog dozvoljenog nivoa opterećenja, puštanje bi se odlagalo ukoliko je to moguće, ili bi se planiralo kratkoročno podešavanje kapaciteta (prekovremeni rad ili dodatne smene) ukoliko odlaganje puštanja nije moguće; i

- „Gladovanje“ radnih centara, koje kontroliše vučenje novih radnih naloga u proizvodnju; ukoliko opterećenje nekog radnog centra padne na nulu (ispred njega nema zaliha nedovršene proizvodnje), u proizvodnji se pušta novi posao kod koga je operacija koja se izvršava na tom radnom centru prva po redu; ukoliko takav posao ne postoji, radnici sa radnog centra koji „gladuje“ se raspoređuju na druge radne centre koji su opterećeni.

Novi sistem kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje je prikazan na Slici 65.



Slika 65. Sistem kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje u kompaniji ALPHA

Nivo opterećenja u montaži diktira rad prethodnih faza u proizvodnji. Pošto je definisano da bi maksimalni novi zaliha nedovršene proizvodnje trebalo da iznosi 3 dana posla, prethodne faze pripremaju materijal za maksimalno 3 dana montaže. Ukoliko montaža nekog posla traje više od tri dana, posao se deli na manje partije, sa maksimalnom veličinom partije od tri dana posla. Ostatak kapaciteta se koristi za pripremu materijala za montažu drugih proizvoda, u skladu sa raspoloživim kapacitetima u montaži. Nivo opterećenja u montaži procenjuju vođe timova, koji u skladu sa zahtevima proizvoda planiraju operacije montaže, radna mesta i broj radnika, rade procenu vremena potrebnog za montažu jednog komada, kao i procenu vremena za montažu ukupne količine proizvoda. U zavisnosti od složenosti proizvoda i zahteva za radnicima, u montaži se u isto vreme može postaviti nekoliko paralelnih linija za

montažu različitih proizvoda. Ipak, opterećenost se ne prati po liniji, s obzirom da se linije formiraju dinamički u zavisnosti od potreba posla, već za montažu u celini. Informacije o opterećenju se prikupljaju na kraju radnog dana, kako bi bile raspoložive informacije za odlučivanje o puštanju poslova narednog radnog dana.

Uspostavljen je FIFO princip kretanja materijala između radnih centara, koji se može narušiti samo uz eksplicitnu dozvolu direktora proizvodnje, i uz dogovor sa vođom tima koji je zadužen za praćenje radnog naloga čije kretanje kroz proizvodnju treba ubrzati.

Implementacija sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje je tekla paralelno sa analizom i upravljanjem baferima. Ovo ima značajne implikacije na buduće primene modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Koraci modela su predstavljeni sekvencijalno, u redosledu koji je preporučljiv kod primene, ali praksa pokazuje da se određeni koraci mogu ili moraju sprovesti paralelno, pa čak i da je u određenim situacijama neophodno promeniti redosled koraka. Pored toga, neki koraci se mogu preskočiti, a u zavisnosti od stanja sistema u kojem se model primenjuje, kao i od rezultata koji se žele postići.

Inicijalna primena modela je završena u 35-toj nedelji 2015. godine, pa se za trenutak prelaska sa postojećeg na novo stanje smatra 1. septembar 2015. godine. Od 1. septembra 2015. godine je vršeno kontinuirano praćenje operativnih performansi (protočnog vremena i pouzdanosti isporuke), u cilju provere efekata primene modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA. Performanse su praćene na nivou radnih naloga, a rezultati su sumirani na nedeljnom i mesečnom nivou, kao i na kraju kalendarske godine. Zbog potreba dokazivanja pojedinačnih hipoteza koje su definisane, a koje se tiču mogućnosti unapređenja operativnih performansi primenom modela implementacije lin pristupa, detaljan prikaz i analiza ostvarenih rezultata će biti dati u narednom poglavlju.

Standardizacija rešenja

Standardizacija rešenja je započeta već u prethodnim koracima modela, gde su rešenja za koja se smatralo da predstavljaju nesumnjiv napredak, pre svega iz oblasti stabilizacije procesa (standardizacija operacija, izmene alata i preventivnog održavanja, procedure za kontrolu kvaliteta, procedure za održavanje urednosti radnih mesta,

obuka radnika i slično). Sa standardizacijom rešenja iz oblasti upravljanja baferima i uspostavljanja sistema kontrolisanog guranja/vučenja proizvodnje je urađena je započeto u trenutku kada su prikupljeno dovoljno podataka koji pokazuju da rešenja dovode do očekivanih poboljšanja. U drugoj polovini 2015. je započeto sa resertifikacijom sistema menadžmenta kvalitetom, što je iskorišćeno kao dodatni povod da se rešenja sistematski

Prilikom evaluacije rešenja je zaključeno da postoji još prostora za napredak, posebno za smanjenje procenta radnih naloga koji su završeni nakon isteka dogovorenog roka, i da taj prostor treba ugraditi u planove prilikom naredne iteracije primene modela. Takođe je dogovoreno da se skup operativnih performansi proširi za narednu iteraciju, i da se u skup dodaju troškovi kao parametar koji treba pratiti i unapređivati, sa posebnim akcentom na troškove lošeg kvaliteta. Uz to je zaključeno da je u narednim iteracijama potrebno nastaviti rad na razvoju informatičke podrške koja bi prikupljanje podataka učinila efikasnijim.

Stimulisanje zaposlenih je urađeno na osnovu broja predloga za unapređenje koje je svaki zaposleni dao. Učešće zaposlenih je ocenjeno kao nezadovoljavajuće, s obzirom da je prosečan broj predloga po zaposlenom veoma mali, i iznosi manje od jednog predloga po zaposlenom mesečno, gde predlozi najčešće potiču od male grupe ljudi. Sa druge strane, iz razgovora sa zaposlenima koji su davali predloge je zaključeno da postoji motiv za aktivnim učestvovanjem u rešavanju problema, i da on nije vezan isključivo za stimulaciju zaposlenih, već je u velikoj meri rezultat želje kompanije da sasluša šta zaposleni imaju da kažu.

Standardizacija rešenja je predstavljena kao poslednji korak u modelu. Međutim, i ovde je praksa pokazala se način primene modela ne može opisati sekvencijalnim izvršavanjem koraka, i da su određena odstupanja moguća, a nekada i poželjna. Tako se rešenja ne moraju standardizovati tek na kraju primene modela, već se standardizacija može vršiti postepeno u toku svakog od prethodnih koraka, svaki put kada se primeti da je napravljen makar i mali korak ka željenom stanju.

6.2.5 Analiza rezultata primene modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi u kompaniji ALPHA

Primena modela implementacije lin pristupa je u kompaniji ALPHA započela u julu 2015. godine, kada je izvršena dijagnoza postojećeg stanja, i kada je započeto sa radom na predlozima kako se postojeće stanje može unaprediti. Cilj unapređenja je bio da se prosečno protočno vreme skрати, i da se poveća pouzdanost isporuke, koja se ogleda kroz prosečno vreme kašnjenja u isporuci gotovih proizvoda i procenat isporuka koje su urađene nakon definisanog roka. Sa primenom predloženih rešenja je započeto od septembra 2015. godine.

6.2.5.1 Analiza unapređenja protočnog vremena primenom modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA

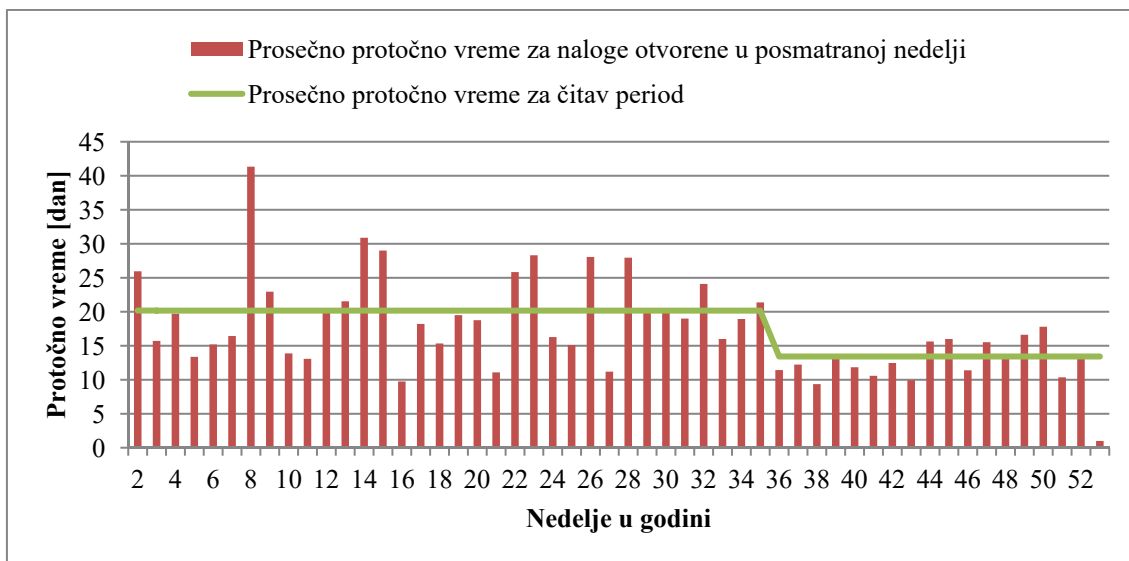
Kako bi se dokazao uticaj primene modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi na skraćanje prosečnog protočnog vremena, formulisana je sledeća pojedinačna hipoteza:

H2.2 Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa skratiti protočna vremena u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Da bi se dokazalo postojanje veze između primene modela implementacije lin pristupa i skraćanja protočnog vremena, 2015. godina je podeljena na dva perioda:

- Period 1: postojeće stanje, pre primene modela implementacije lin pristupa – od početka januara do kraja avgusta, odnosno od prve do tridesetpete nedelje;
- Period 2: novo stanje, nakon primene modela implementacije lin pristupa – od početka septembra do kraja decembra, odnosno od tridesetšeste do pedesettreće nedelje.

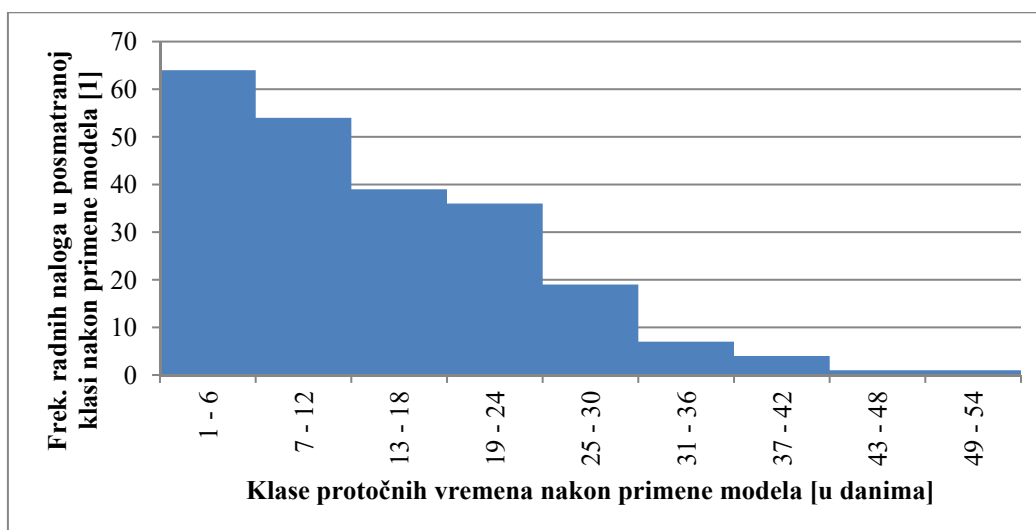
Na Slici 66 je prikazano kretanje prosečnog protočnog vremena po nedeljama za postojeće i novo stanje, kao i prosečno protočno vreme za oba perioda u celini. Kao i kod snimka stanja, i ovde su podaci prikupljeni na nivou pojedinačnih radnih naloga, ali su zbog preglednosti prikazani na nedeljnom nivou, kao i na nivou proseka za oba perioda u celini.



Slika 66. Prosečno protočno vreme pre i nakon primene modela

Sa slike se vidi da je prosečno protočno vreme nakon primene modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA manje od prosečnog protočnog vremena u postojećem stanju, odnosno pre primene modela. Prosečno vreme pre primene modela je iznosilo 20,17 dana, dok je nakon primene modela smanjeno na 13,43 dana.

Na Slici 67 je data distribucija protočnih vremena za novo stanje. Kada se Slika 67 uporedi sa Slikom 56, može se primetiti da je u novom stanju raspon protočnih vremena značajno smanjen, što je uticalo i na smanjenje prosečnog protočnog vremena.



Slika 67. Distribucija protočnih vremena nakon primene modela

Postavlja se pitanje da li je i koliko razlika u protočnim vremenima za postojeće i novo stanje značajna. Zbog toga je urađen Mann-Whitney U test, gde su poređena protočna vremena radnih naloga pre primene i nakon primene modela, kako bi se proverilo da li postoje značajne razlike u protočnim vremenima ili ne.

U nastavku su grupisani rezultati statističke obrade podataka.

Prilikom analize značajnosti razlike u protočnim vremenima za postojeće i novo stanje, veličina uzorka za postojeće stanje je iznosila 429 radnih naloga, dok je za novo stanje veličina uzorka iznosila 225 radnih naloga. U obzir su uzeti samo oni nalozi kod kojih su se proizvodi kompletno obrađivali na liniji za obradu pločastih materijala, pošto je ona bila predmet unapređenja. U Tabeli 35 je dat pregled prosečnih protočnih vremena za postojeće i novo stanje.

Tabela 35. Prosečno protočno vreme u postojećem i novom stanju

	Period	Veličina uzorka	Srednja vrednost	Standardna devijacija
Protočno vreme	Postojeće stanje	429	20,1702	19,81731
	Novo stanje	225	13,4267	10,02253

Mann-Whitney U test predstavlja neparametarsku alternativu t-testu za dva uzorka. T-test pretpostavlja da su uzorci iz populacije koja ima normalnu raspodelu. Za proveru pretpostavke o normalnim raspodelama uzoraka su korišćeni Kolmogorov-Smirnov i Shapiro-Wilk testovi. Rezultati ova dva testa su prikazani u Tabeli 36.

Tabela 36. Kolmogorov-Smirnov i Shapiro-Wilk testovi za jedan uzorak za protočno vreme

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistika	Step. slo.	Znača.	Statistika	Step. slo.	Znača.
Protočno vreme u postojećem stanju	0,182	429	0,000	0,775	429	0,000
Protočno vreme u novom stanju	0,120	225	0,000	0,925	225	0,000

Rezultati testa za protočno vreme u postojećem i novom stanju govore da je značajnost manja od praga značajnosti ($\alpha=0,05$), pa se hipoteza da protočna vremena imaju

normalnu rasporedu odbacuje, i prihvata alternativna hipoteza da protočna vremena nemaju normalnu raspodelu. Zbog narušene pretpostavke normalnosti raspodele, nije moguće koristiti upareni t-test. Mann-Whitney U test predstavlja neparametarsku alternativu uparenom t-testu, i njegova primena ne pretpostavlja da uzorci iz populacije imaju normalnu raspodelu. Kao i drugi neparametarski testovi, i Mann-Whitney U test pretpostavlja da su uzorci slučajni, i da su posmatranja nezavisna, odnosno da se jedan slučaj pojavljuje samo jednom, i da podaci za jedan subjekat ne utiču na podatke za drugi subjekat. Pored toga, Mann-Whitney U test pretpostavlja homogenost varijansi, odnosno nepostojanje statistički značajne razlike u varijansama dveju grupa. Ova pretpostavka je posebno značajna u slučaju kada veličine grupa nisu jednake (Zimmerman, 2004). S obzirom da je već pokazano da protočna vremena u postojećem i novom stanju nemaju normalnu raspodelu, pretpostavka o homogenosti varijanse će biti proverena kroz neparametarski Levene-ov test (Nordstokke & Zumbo, 2010). U Tabeli 37 su dati rezultati neparametarskog Levene-ovog testa za jednakost varijansi protočnih vremena u dva perioda.

Tabela 37. Neparametarski Levene-ov test za jednakost varijansi protočnih vremena u postojećem i novom stanju

	Suma kvadrata	Step. slo.	Srednji kvadrat	F	Znača.
Između grupa	5616,619	1	5616,619	0,674	0,412
Unutar grupa	5433283,789	652	8333,257		
Ukupno	5438900,408	653			

Rezultati testa pokazuju da je značajnost veća od praga značajnosti ($\alpha=0,05$), pa se hipoteza da postoji značajna razlika u varijansama dveju grupa odbacuje, i prihvata alternativna hipoteza da ne postoji značajna razlika u varijansama dveju grupa.

U Tabeli 38 je dato poređenje srednje vrednosti ranga protočnih vremena za postojeće i novo stanje.

Tabela 38. Srednja vrednost ranga protočnih vremena za postojeće i novo stanje

	Period	N	Srednji rang	Suma rangova
Protočno vreme	Postojeće stanje	429	346,63	148705,00
	Novo stanje	225	291,02	65480,00
	Ukupno	654		

Iz tabele se vidi da je srednja vrednost ranga protočnih vremena u postojećem stanju veća od srednje vrednosti ranga u novom stanju. To znači da je srednje protočno vreme u novom stanju manje od srednjeg protočnog vremena u postojećem stanju, pošto niži rangovi predstavljaju niže vrednosti parametra. U Tabeli 39 je prikazana statistika Mann-Whitney U testa.

Tabela 39. Statistika Mann-Whitney U testa razlike u protočnim vremenima za
postojeće i novo stanje

	Protočno vreme
Mann-Whitney U	40055,000
Wilcoxon W	65480,000
Z	-3,578
Asimp. znač. (dvostrana)	0,000

Za razliku od t-testa koji poredi srednje vrednosti dve grupe, Mann-Whitney U test poredi medijane grupa. Zbog toga je u Tabeli 40 dat prikaz medijana protočnih vremena za postojeće i novo stanje.

Tabela 40. Medijane protočnih vremena za postojeće i novo stanje

Protočno vreme u starom stanju	N	429
	Medijana	13,0000
Protočno vreme u novom stanju	N	225
	Medijana	11,0000

S obzirom da je znajachnost manja od praga značajnosti ($\alpha=0,05$), može se zaključiti da je protočno vreme nakon primene modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA (medijana=11, N=225) statistički značajno manje ($U=40055,00$; $Z=-3,578$; $p=0,000$) od protočnog vremena pre primene modela (medijana=13, N=429). Kako bi se upotpunila analiza, izračunata je veličina efekta razlike između dve grupe prema formuli:

$$r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$$

U ovom slučaju, vrednost r iznosi 0,14 (predznak rezultata nema nikakvu ulogu), pa je prema Cohen-u (1988) efekat mali-umereni (do 0,1 je veličina efekta mala, 0,3 predstavlja umerenu veličinu efekta).

Izvršenom statističkom analizom je potvrđena pojedinačna hipoteza:

H2.2 Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa skratiti protočna vremena u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

6.2.5.2 Analiza unapređenja pouzdanosti isporuke primenom modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA

Kako bi se dokazao uticaj primene modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi na povećanje pouzdanosti isporuke gotovih proizvoda, formulisana je sledeća pojedinačna hipoteza:

H2.2 Moguće je primenom modela lin pristupa povećati pouzdanost isporuke gotovih proizvoda, odnosno smanjiti procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke, kao i prosečno vreme kašnjenja u isporuci u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Pouzdanost isporuke je merena kroz dva parametra:

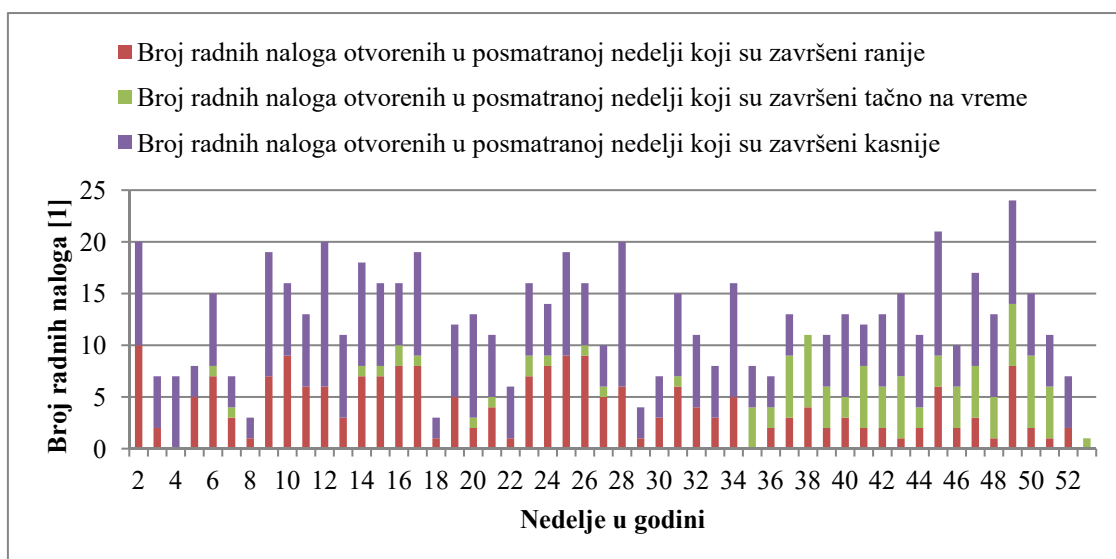
- Procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke; i
- Prosečno vreme kašnjenja u isporuci.

Kao i kod analize uticaja primene modela na smanjenje protočnog vremena, i ovde je 2015. godina podeljena na dva perioda:

- Period 1: postojeće stanje, pre primene modela implementacije lin pristupa – od početka januara do kraja avgusta, odnosno od prve do tridesetpete nedelje;
- Period 2: novo stanje, nakon primene modela implementacije lin pristupa – od početka septembra do kraja decembra, odnosno od tridesetšeste do pedesettreće nedelje.

Na Slici 68 je dat prikaz radnih naloga koji su završeni ranije, tačno na vreme, i kasnije u odnosu na rok koji je dogovoren sa kupcem, za celu 2015. godinu. Podaci su takođe

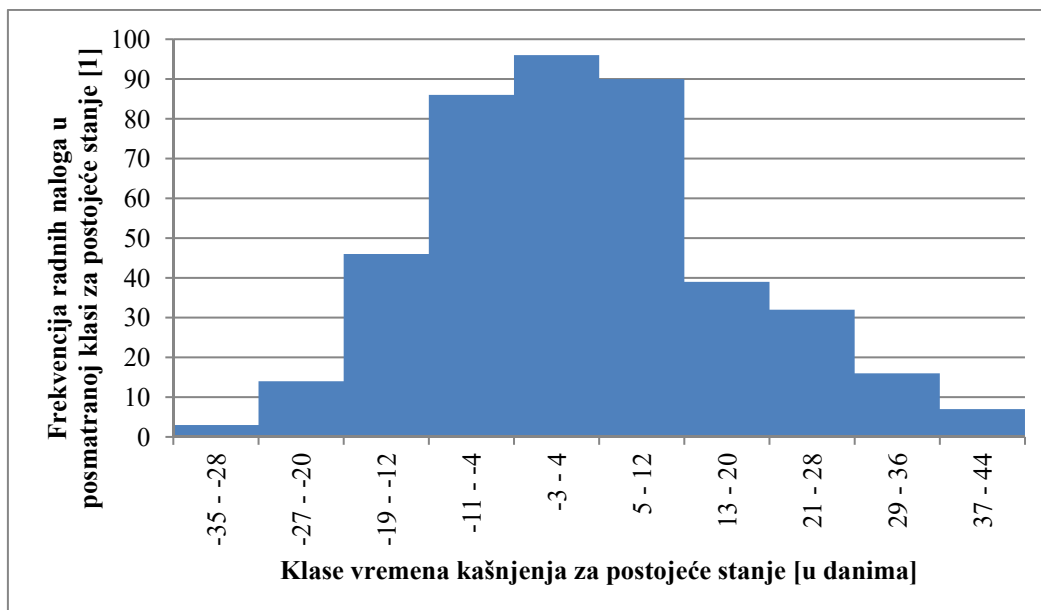
prikupljani po radnom nalogu (odnosno po poslu), ali su zbog preglednosti prikazani na nivou nedelje u kojoj su radni nalozi otvoreni.



Slika 68. Broj radnih naloga koji su završeni ranije, tačno na vreme i kasnije, za celu 2015. godinu

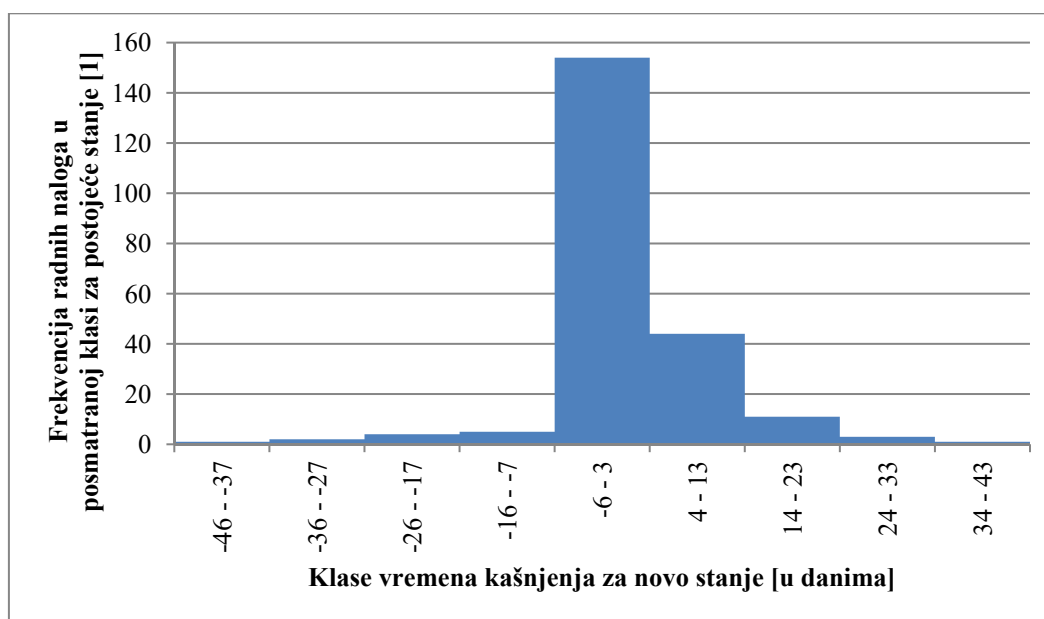
Sa slike se vidi da je broj radnih naloga koji su završeni tačno na vreme u periodu nakon primene modela implementacije lin pristupa porastao u odnosu na postojeće stanje. Kao posledicu porasta broja naloga koji su završeni tačno na vreme imamo smanjenje broja naloga koji su završeni ranije, ali i broja naloga koji su završeni nakon definisanog roka, odnosno kasnije.

Za analizu je značajno prikazati i kakva je distribucija kašnjenja radnih naloga pre i nakon primene modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA. Na Slici 69 je dat prikaz distribucije kašnjenja za postojeće stanje.



Slika 69. Distribucija kašnjenja za postojeće stanje

Na Slici 70 je dat prikaz distribucije kašnjenja za novo stanje, odnosno nakon primene modela implementacije lin pristupa.



Slika 70. Distribucija kašnjenja za novo stanje

Uporednom analizom Slike 69 i Slike 70 se može videti da je u novom stanju ostvareno značajno poboljšanje pouzdanosti isporuke gotovih proizvoda, s obzirom da distribucija kašnjenja u novom stanju značajno sužena, i da postoji gomilanje radnih naloga u klasi

koja predstavlja završetak posla tačno na vreme, ili uz minimalno ranjenje ili kašnjenje. Takođe se može primetiti da je broj radnih naloga koji su završeni nakon definisanog roka, ali i broj radnih naloga koji su završeni ranije u odnosu na definisani rok značajno smanjen.

Kako bi se analizirao uticaj primene modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA na smanjenje procenta poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka, postavljeno je sledeće istraživačko pitanje:

Da li je procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isti pre i nakon primene modela implementacije lin pristupa?

U cilju odgovora na postavljeno istraživačko pitanje je urađen Pearson-ov Hi-kvadrat test, čiji su rezultati prikazani u nastavku.

S obzirom da u slučaju kompanije ALPHA kupci najčešće pristaju na raniju isporuku, radni nalozi su grupisani u dve kategorije:

- Radni nalozi koji su završeni kasnije – svi radni nalozi koji su završeni nakon isteka definisanog roka; i
- Radni nalozi koji su završeni bez kašnjenja – svi radni nalozi koji su završeni tačno na vreme ili ranije u odnosu na definisani rok.

U Tabeli 41 je dat prikaz procentualnog učešće radnih naloga koji su završeni kasnije, kao i onih koji su završeni bez kašnjenja, za postojeće stanje, za novo stanje i ukupno.

Tabela 41. Procentualno učešće radnih naloga koji su završeni kasnije i onih koji su završeni bez kašnjenja

			Kašnjenje		Ukupno
			Sa kašnjenjem	Bez kašnjenja	
Period	Post. stanje	Broj	238	191	429
		Procenat	55,5%	44,5%	100,0%
	Novo stanje	Broj	105	120	225
		Procenat	46,7%	53,3%	100,0%
Total		Broj	343	311	654
		Procenat	52,4%	47,6%	100,0%

**Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi
nerepetitivnih proizvodnih sistema**

Iz Tabele 41 se vidi da je procenat radnih naloga koji su završeni sa kašnjenjem u postojećem stanju iznosio 55,5%, dok je procenat radnih naloga koji su završeni bez kašnjenja iznosio 44,5%. Procenat radnih naloga koji su završeni sa kašnjenjem u novom stanju iznosi 46,7%, dok procenat radnih naloga koji su završeni bez kašnjenja iznosi 53,3%. Iz tabele se može zaključiti da je ostvareno smanjenje u procentu radnih naloga koji su završeni nakon isteka definisanog roka. Kako bi se ispitala statistička značajnost ovog smanjenja, urađen je Pearsonov Hi-kvadrat test za utvrđivanje veze između dve kategoričke promenljive. Rezultati testa su dati u Tabeli 42.

Tabela 42. Pearson-ov Hi-kvadrat test razlike procenta poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka pre i nakon primene modela implementacije lin pristupa

	Vred.	Step. slobode	Asimp. znač.. (dvostrana)	Tačna znač. (dvostrana)	Tačna znač. (jednostrana)
Pearson-ov Hi-Kvadrat	4,594	1	0,032	0,033	0,020
Korekcija kontinuiteta	4,248	1	0,039		
Odnos verovatnoća	4,594	1	0,032		
Fisher-ov test					
Trend	4,587	1	0,032		
Broj validnih slučajeva	654				

U Tabeli 43 je prikaz mera simetričnosti Pearson-ovog Hi-Kvadrat testa. Parametar *phi* (ϕ) prikazuje veličinu efekta, odnosno razlike između procenta poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isti pre i nakon primene modela implementacije lin pristupa.

Tabela 43. Mere simetričnosti Pearson-ovog Hi-Kvadrat testa

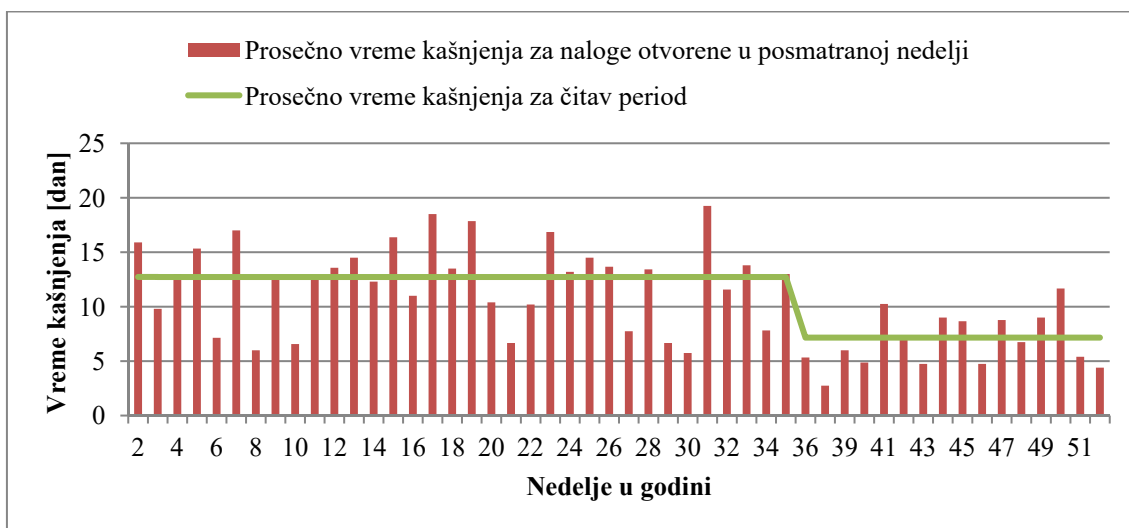
		Vrednost	Pribl. znač.
Nominalan sa nominalnim	Phi	0,084	0,032
	Cramer-ovo V	0,084	0,032
Broj validnih slučajeva		654	

Iz rezultata dobijenih Pearson-ovim Hi-Kvadrat testom (sa Yates-ovom korekcijom kontinuiteta) se može zaključiti da je procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka statistički značajno manji u novom stanju nego u postojećem stanju, $\chi^2(1, N=654)=4,248$, $p=0,039$. Veličina efekta, odnosno razlike između procenta poslova

koji su završeni nakon isteka definisanog roka u postojećem i novom stanju se može oceniti kao mala, $\phi=0,084$.

Poredeći protočno vreme pre i nakon primene modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA u Tabeli 35, može se videti da je, osim što je smanjeno prosečno protočno vreme, smanjena i standardna devijacija protočnih vremena. Imajući u vide te rezultate, kao i smanjenje procenta poslova koji su završeni nakon definisanog roka, može se reći da je pouzdanost isporuke povećana tako što je delovano i na smanjenje prosečnog protočnog vremena i na smanjenje standardne devijacije protočnih vremena.

Drugi parametar kroz koji je merena pouzdanost isporuke je prosečno vreme kašnjenja poslova. Na Slici 71 je dat prikaz prosečnog vremena kašnjenja radnih naloga za celu 2015. godinu. Podaci su prikupljeni po radnom nalogu (odnosno po poslu), ali su zbog preglednosti prikazani na nivou nedelje u kojoj su radni nalozi otvoreni. Sa slike se može primetiti da se prosečno kašnjenje u isporuci proizvoda smanjilo nakon 36. nedelje, odnosno nakon primene modela implementacije lin pristupa. Pre primene modela prosečno vreme kašnjenja je iznosilo 12,73 dana, dok je nakon primene modela smanjeno na 7,16 dana.



Slika 71. Prosečno vreme kašnjenja u isporuci proizvoda za celu 2015. godinu

Postavlja se pitanje da li je i koliko razlika u prosečnom vremenu kašnjenja za postojeće i novo stanje značajna. Zbog toga je urađen Mann-Whitney U test, gde su poređena vremena kašnjenja radnih naloga pre primene i nakon primene modela, kako bi se

proverilo da li postoje značajne razlike u protočnim vremenima ili ne. Analiza je rađena samo za radne naloge koji su završeni nakon isteka definisanog roka.

U nastavku su grupisani rezultati statističke obrade podataka.

Prilikom analize značajnosti razlike u prosečnom vremenu kašnjenja za postojeće i novo stanje, veličina uzorka za postojeće stanje je iznosila 238 radnih naloga, dok je za novo stanje veličina uzorka iznosila 105 radnih naloga. U obzir su uzeti samo oni nalozi koji su završeni nakon definisanog roka, i kod kojih su se proizvodi kompletno obrađivali na liniji za obradu pločastih materijala, pošto je ona bila predmet unapređenja. U Tabeli 44 je dat pregled prosečnog vremena kašnjenja za postojeće i novo stanje.

Tabela 44. Vreme kašnjenja u postojećem i novom stanju

	Period	Veličina uzorka	Srednja vrednost	Standardna devijacija
Vreme kašnjenja	Postojeće stanje	238	12,7269	9,83948
	Novo stanje	105	7,1619	7,11056

Za proveru pretpostavke o normalnim raspodelama uzoraka su korišćeni Kolmogorov-Smirnov i Shapiro-Wilk testovi. Rezultati ova dva testa su prikazani u Tabeli 45.

Tabela 45. Kolmogorov-Smirnov i Shapiro-Wilk testovi za jedan uzorak za vreme kašnjenja

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistika	Step. slo.	Znača.	Statistika	Step. slo.	Znača.
Vreme kašnjenja u postojećem stanju	0,152	238	0,000	0,894	238	0,000
Vreme kašnjenja u novom stanju	0,200	105	0,000	0,793	105	0,000

Rezultati testa za vreme kašnjenja u postojećem i novom stanju govore da je značajnost manja od praga značajnosti ($\alpha=0,05$), pa se hipoteza da vremena kašnjenja imaju normalnu rasporedu odbacuje, i prihvata alternativna hipoteza da vremena kašnjenja nemaju normalnu raspodelu. S obzirom da je pokazano da vremena kašnjenja u postojećem i novom stanju nemaju normalnu raspodelu, pretpostavka o homogenosti varijanse će biti proverena kroz neparametarski Levene-ov test. U Tabeli 46 su dati

rezultati neparametarskog Levene-ovog testa za jednakost varijansi vremena kašnjenja u dva perioda.

Tabela 46. Neparametarski Levene-ov test za jednakost varijansi vremena kašnjenja u postojećem i novom stanju

	Suma kvadrata	Step. slo.	Srednji kvadrat	F	Znača.
Između grupa	41,690	1	41,690	0,019	0,891
Unutar grupa	758353,015	341	2223,909		
Ukupno	758394,704	342			

Rezultati testa pokazuju da je značajnost veća od praga značajnosti ($\alpha=0,05$), pa se hipoteza da postoji značajna razlika u varijansama dveju grupa odbacuje, i prihvata alternativna hipoteza da ne postoji značajna razlika u varijansama dveju grupa.

U Tabeli 47 je dato poređenje srednje vrednosti ranga vremena kašnjenja za postojeće i novo stanje.

Tabela 47. Srednja vrednost ranga vremena kašnjenja za postojeće i novo stanje

	Period	N	Srednji rang	Suma rangova
Vreme kašnjenja	Postojeće stanje	238	192,25	45756,00
	Novo stanje	105	126,10	13240,00
	Ukupno	343		

Iz tabele se vidi da je srednja vrednost ranga vremena kašnjenja u postojećem stanju veća od srednje vrednosti ranga u novom stanju. To znači da je srednje vreme kašnjenja u novom stanju manje od srednjeg vremena kašnjenja u postojećem stanju, pošto niži rangovi predstavljaju niže vrednosti parametra. U Tabeli 48 je prikazana statistika Mann-Whitney U testa.

Tabela 48. Statistika Mann-Whitney U testa razlike u vremenima kašnjenja za postojeće i novo stanje

	Vreme kašnjenja
Mann-Whitney U	7675,000
Wilcoxon W	13240,000
Z	-5,704
Asimp. znač. (dvostrana)	0,000

S obzirom da Mann-Whitney U test poredi medijane grupa, u Tabeli 49 je dat prikaz medijana vremena kašnjenja za postojeće i novo stanje.

Tabela 49. Medijane vremena kašnjenja za postojeće i novo stanje

Vreme kašnjenja u starom stanju	N	238
	Medijana	9,0000
Vreme kašnjenja u novom stanju	N	105
	Medijana	4,0000

Imajući u vidu da je znajacnost manja od praga značajnosti ($\alpha=0,05$), može se zaključiti da je vreme kašnjenja nakon primene modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA (medijana=4, N=105) statistički značajno manje ($U=7675,000$; $Z=-5,704$; $p=0,000$) od vremena kašnjenja pre primene modela (medijana=9, N=238).

U ovom slučaju, vrednost r iznosi 0,31, pa je prema Cohen-u (1988) efekat umereno-veliki.

Imajući u vidu rezultate Pearson-ovog Hi-Kvadrat testa za procenat kašnjenja u isporuci proizvoda, i Mann-Whitney U testa za prosečno vreme u kašnjenju isporuke proizvoda, može se reći da je izvršenom statističkom analizom potvrđena pojedinačna hipoteza:

H2.3 Moguće je primenom modela lin pristupa povećati pouzdanost isporuke gotovih proizvoda, odnosno smanjiti procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke, kao i prosečno vreme kašnjenja u isporuci u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

6.2.6 Rezime i zaključci poglavlja

U ovom delu istraživanja je izvršena eksperimentalna provera modela implementacije lin pristupa, tako što je model koji je razvijen primenjen u kompaniji ALPHA, koja predstavlja tipični nerepetitivni proizvodni sistem. Mogućnost unapređenja operativnih performansi primenom modela je prvo proverena kroz simulaciju, gde su rezultati pokazali da primena modela može unaprediti protočno vreme i pouzdanost isporuke. Nakon toga je usledilo empirijsko istraživanje, gde se pristupilo primeni modela. U svrhu provere efekata primene modela, u kompaniji ALPHA su prikupljeni podaci za

dva perioda: od januara do avgusta 2015. godine, odnosno period pre implementacije modela, i od septembra do decembra 2015. godine, što predstavlja period nakon primene modela.

Statističkom analizom podataka o protočnom vremenu je utvrđeno da je prosečno protočno vreme u kompaniji ALPHA smanjeno sa 20,17 dana, koliko je iznosilo pre primene modela, na 13,43 dana koliko je iznosilo nakon primene modela. Pored srednjeg protočnog vremena, smanjena je i standardna devijacija protočnog vremena, i to sa 19,82, koliko je iznosila pre primene modela, na 10,02, koliko je iznosila nakon primene modela. Ovi rezultati potvrđuju pojedinačnu hipotezu:

H2.2 Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa skratiti protočna vremena u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Pouzdanost isporuke u kompaniji ALPHA je merena preko dva parametra:

- Procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke; i
- Prosečno vreme kašnjenja u isporuci.

Kako bi se analizirao uticaj primene modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA na smanjenje procenta poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka, postavljeno je pitanje da li je procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isti pre i nakon primene modela implementacije lin pristupa? Statističkom analizom podataka o procentu poslova koji su završeni na vreme, odnosno uz kašnjenje, utvrđeno je da je procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke smanjen sa 55,5% iz perioda pre primene modela na 46,7% u periodu nakon primene modela.

Drugi parametar kroz koji je merena pouzdanost isporuke je prosečno vreme kašnjenja poslova. Statističkom analizom vremena kašnjenja poslova je utvrđeno da je došlo do smanjenja prosečnog vremena kašnjenja u isporuci nakon primene modela, u odnosu na period pre primene modela. Pre primene modela prosečno vreme kašnjenja u isporuci je iznosilo 12,73 dana, dok je nakon primene modela smanjeno na 7,16 dana. Smanjenje procenta poslova koji su završeni nakon definisanog roka isporuke, kao i smanjenje prosečnog vremena kašnjenja u isporuci, potvrđuju pojedinačnu hipotezu:

H2.3 Moguće je primenom modela lin pristupa povećati pouzdanost isporuke gotovih proizvoda, odnosno smanjiti procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke, kao i prosečno vreme kašnjenja u isporuci u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Potvrđivanjem pojedinačnih hipoteza H2.2 i H2.3 u ovom poglavlju, kao i potvrđivanjem pojedinačne hipoteze H2.1 u prethodnom poglavlju, potvrđena je i posebna hipoteza:

H2 Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnom okruženju uticati na operativne performanse kompanije.

7. Zaključak

Predmet istraživanja je mogućnost unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema – konkretno protočnog vremena i pouzdanosti isporuke – primenom lin pristupa. Cilj ovog istraživanja je unapređivanje znanja u oblasti lin proizvodnje i provera efekata primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima kroz projektovanje novog originalnog modela primene lin pristupa u nerepetitivnom proizvodnom okruženju na osnovu analize dosadašnjih iskustava, i njegovu eksperimentalnu proveru u kompaniji koja pripada grupi nerepetitivnih proizvođača. U istraživanju se pošlo od pretpostavke, koju bi trebalo proveriti, da se operativne performanse nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu unaprediti primenom lin pristupa.

7.1 Rezultati istraživanja i ostvareni naučni doprinosi

Nakon uvoda i nacрта naučne zamisli istraživanja, a na osnovu pregleda i analize relevantne literature, napisan je deo disertacije koji obrađuje temu primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, kako bi se stekao uvid u trenutnu situaciju u ovoj oblasti. U tu svrhu je izvršena sistematična pretraga i analiza naučnih i stručnih radova koji su objavljeni u međunarodnim časopisima sa impakt faktorom. Rezultati istraživanja pokazuju da u naučnoj i stručnoj literaturi postoji interesovanje za primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, ali i problemi u primeni koji su uzrokovani karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema, koje ne dozvoljavaju da se praksa primene lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima doslovno kopira u nerepetitivne proizvodne sisteme. Analiza pokazuje da se lin pristup često posmatra kao skup alata, a ređe kao filozofski pristup i skup principa koji bi trebalo da mu obezbede univerzalnost. Autori koji analiziraju primenljivost lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se često vode konstruktima koji su karakteristični za repetitivne proizvodne sisteme, što može uticati na uspešnost primene, s obzirom da se ne uzimaju u potpunosti u obzir specifičnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema. Kao rezultat nije redak slučaj da se karakteristike nerepetitivnih sistema menjaju kako bi se olakšala primena alata lin pristupa koji su karakteristični za repetitivne proizvodne sisteme. Ono što je najzanimljiviji rezultat ove faze istraživanja je zaključak da ne postoji jedinstveni okvir implementacije lin pristupa u nerepetitivnim

proizvodnim sistemima, čak ni u obliku grubog skupa principa i pravila kojih bi se trebalo pridržavati, i da znanje o primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima nije strukturirano i sistematizovano na način na koji je to urađeno za repetitivne proizvodne sisteme.

Drugi deo istraživanja je bio usmeren na analizu mogućnosti primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. U tu svrhu je izvršeno istraživanje literature o razvoju lin pristupa, karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema, implikacija koje karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu imati na primenu lin pristupa, kao i mogućnosti rešavanja problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa.

Istraživanjem razvoja lin pristupa je utvrđeno da je lin pristup razvijen u uslovima promenjenih zahteva kupaca, koji su tražili različite proizvode u obimima koji nisu opravdavali masovnu proizvodnju. U Tojoti nastaje proizvodni sistem koji na zapadu identifikuju kao repetitivni proizvodni sistem, koji napušta proizvodnju u velikim serijama koja je karakteristična za masovnu proizvodnju, tako što organizuju proizvodnju u malim serijama, uz smanjenje troškova rada na izmeni serija. Primena lin pristupa u ovakvim proizvodnim sistemima dovodi do povećanja fleksibilnosti i efikasnosti proizvodnje, i omogućava proizvodnju većeg broja različitih proizvoda na ekonomski opravdan način. Iz analize relevantne literature koja je sprovedena u ovom delu istraživanja su izvučeni sledeći zaključci:

- Masovna proizvodnja je predstavljala dominantan vid proizvodnje automobila u Americi i Evropi;
- Lin pristup svoje korene ima u proizvodnom sistemu koji je nastao u Tojoti nakon drugog svetskog rata u uslovima izmenjenih zahteva kupaca koji su tražili različite proizvode u obimima koji nisu opravdavali masovnu proizvodnju;
- Lin pristup je zasnovan na dva stuba Tojotinog proizvodnog sistema, pravovremenoj proizvodnji i inteligentnoj automatizaciji, i jedna od osnovnih karakteristika lin pristupa je uporan rad na eliminisanju svih oblika rasipanja;
- Prilikom širenja lin pristupa na zapad je definisana repetitivna proizvodnja kao ponavljajuća proizvodnja proizvoda koji su standardni ili čija se varijantnost postiže kombinovanjem standardnih modula, u dužem vremenskom periodu;

repetitivni proizvodni sistemi napuštaju proizvodnju u velikim serijama koja je karakteristična za masovnu proizvodnju, uz minimizaciju troškova rada na izmeni alata;

- Repetitivno proizvodno okruženje predstavlja industrijsko okruženje u kojem se lin pristup razvija i napreduje; zbog toga repetitivni proizvodni sistemi mogu da proizvedu veći broj različitih proizvoda na ekonomski opravdan način.

U ovom delu istraživanja je potvrđena pojedinačna hipoteza:

H1.1 Lin pristup je razvijen za potrebe repetitivnih proizvodnih sistema.

Rezultati istraživanja karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema pokazuju da postoje značajne razlike u potrebama koje zadovoljavaju repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi, a posledično i u ciljevima kojima teže i zadacima koje izvršavaju na putu ka ispunjenju tih ciljeva. Na osnovu analize relevantne literature koja je sprovedena u ovom delu istraživanja su izvučeni sledeći zaključci:

- Repetitivni i nerepetitivni proizvodni sistemi imaju različite ciljeve, i zadovoljavaju različite potrebe (različitih) korisnika na tržištu;
- Repetitivnost, odnosno nerepetitivnost proizvodnje predstavlja stratešku odluku i izvor konkurentske prednosti u zadovoljavanju zahteva korisnika na specifičnom tržištu;
- Karakteristike repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema su u skladu sa specifičnim ciljevima i zahtevima tržišta, pa se zbog toga i razlikuju.

Razlike u karakteristikama repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema su prisutne u svim elementima proizvodnih sistema, i mogu biti značajne. Razlike počinju već kod samog proizvoda, načina na koji se on prilagođava zahtevima korisnika, načina na koji se postiže varijantnost proizvoda, što utiče na načine na koje se ostvaruje fleksibilnost, na koje se organizuje tok materijala, raspoređuje oprema i slično. Posledično, različiti su zahtevi za znanjem koje poseduju zaposleni, načini na koji se zaposleni vode, kao i načini i nivoi na kojima se donose odluke.

U ovom delu istraživanja je potvrđena pojedinačna hipoteza:

H1.2 Karakteristike repetitivnih proizvodnih sistema se razlikuju od karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema.

Kroz istraživanje relevantne literature je analiziran i način primene lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima, i implikacije koje karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu imati na primenu lin pristupa. Na osnovu analize koja je izvršena u ovom delu istraživanja, mogu se izvući sledeći zaključci koji su značajni za primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima:

- Implementacija lin pristupa se može analizirati iz dva aspekta: aspekta fundamentalnih pravila implementacije lin pristupa, i aspekta metoda, tehnika i alata lin pristupa;
- Karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema nemaju značajnog uticaja na primenu pravila i principa, što znači da se osnovna pravila implementacije lin pristupa mogu primeniti u nerepetitivnim proizvodnim sistemima uz manje modifikacije, tamo gde je to potrebno;
- Karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu imati značajnog uticaja na operacionalizaciju osnovnih pravila, odnosno na primenu metoda, tehnika i alata u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, gde je primena određenih alata znatno otežana karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema i zahteva značajne modifikacije, dok je primena nekih alata onemogućena;
- Karakteristike nerepetitivnih proizvodnih sistema mogu zahtevati razvoj specifičnih metoda, tehnika i alata lin pristupa.

Način kombinovanja metoda, tehnika i alata je najčešće usklađen sa karakteristikama repetitivnih proizvodnih sistema, i često je usmeren od sredstava ka ciljevima, što govori da se praksa repetitivnih proizvodnih sistema u primeni lin pristupa ne može kopirati u nerepetitivne proizvodne sisteme. Implementacija lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima zahteva pristup od ciljeva ka sredstvima. Dok drugi zaključak govori u prilog primeni lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, treći zaključak poziva na oprez. Praksa implementacije lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima se ne može jednostavno prekopirati u nerepetitivne proizvodne sisteme, i neophodno je razviti pristup koji je prilagođen karakteristikama specifičnog proizvodnog okruženja. Fokus treba staviti na primenu i praćenje osnovnih

principa i pravila lin proizvodnje, dok alate lin pristupa treba pažljivo birati među postojećim, i razvijati nove alate koji će predstavljati kontramere za specifične probleme koji su identifikovni u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

U ovom delu istraživanja je potvrđena pojedinačna hipoteza:

H1.3 Primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima se razlikuje od primene lin pristupa u repetitivnim proizvodnim sistemima.

U cilju analize problema u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, kao i analize mogućnosti njihovih rešavanja primenom lin pristupa, izvršena je analiza literature, kao i analiza tri studije slučaja primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Na osnovu analize su izvedeni sledeći zaključci:

- Na osnovu pregleda literature, može se zaključiti da su dominantni problemi u nerepetitivnim proizvodnim sistemima vezani za dugačka protočna vremena, nisku pouzdanost isporuke (kašnjenje), nezadovoljavajući kvalitet, visoke troškove i visok nivo zaliha (pre svega nedovršene proizvodnje);
- Problemi nerepetitivnih proizvodnih sistema se u izvesnoj meri podudaraju sa problemima repetitivnih proizvodnih sistema;
- Razlike između repetitivnih i nerepetitivnih proizvodnih sistema u pogledu problema i njihove prioritetizacije su posledica razlika u karakteristikama pomenutih proizvodnih sistema, kao i različitih ciljeva koje ovi proizvodni sistemi imaju;
- Analiza studija slučaja pokazuje da primena lin pristupa može biti uspešna u nerepetitivnim proizvodnim sistemima; iako studije slučaja pokazuju da implementacija može da bude uspešna, ne daju jasne preporuke kako se način implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima može generalizovati.

Imajući u vidu zaključke koji su izvedeni iz analize literature, kao i zaključke izvedene iz analize studija slučaja primene lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, potvrđena je pojedinačna hipoteza:

H1.4 Moguće je rešavati probleme u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa.

Potvrđivanjem hipoteza H1.1 do H1.4 je pokazano da je primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima moguća, iako je pristup nastao u repetitivnim proizvodnim sistemima. Pored toga, potvrđivanje hipoteza H1.3 i H1.4 pokazuje da je primena lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima moguća samo ukoliko se u obzir uzmu sve specifičnosti nerepetitivnih proizvodnih sistema, odnosno da se za implementaciju lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima mora razviti specifičan pristup koji je prilagođen potrebama tih sistema.

Imajući u vidu rezultate istraživanja kojima su potvrđene hipoteze H1.1 do H1.4, formalizovan je originalni model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Formalizacija modela je tekla u dva pravca. Prvi pravac predstavlja razvoj konceptualnog okvira implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima, čiji je cilj da da novi prikaz i tumačenje principa lin pristupa u svetlu karakteristika nerepetitivnih proizvodnih sistema, i da analizira mogućnosti korišćenja prilagođenih principa lin pristupa u svrhu aktivnog oblikovanja proizvodnog okruženja. Analiza principa lin pristupa u kontekstu nerepetitivnih proizvodnih sistema je potvrdila stav koji su izneli Womack et al. (1990) da su principi lin pristupa univerzalno primenljivi, i ponuđeno je tumačenje principa lin pristupa koje je bliže specifičnostima nerepetitivnih proizvodnih sistema. U kontekstu nerepetitivnih proizvodnih sistema, principi lin pristupa daju odgovore na sledeća pitanja:

- Šta je vrednost za korisnika?
- Kako se stvara vrednost za korisnika?
- Kako obezbediti da se tok stvaranja vrednosti obviđa brzo i ujednačeno?
- Kako sinhronizovati transformisane resurse, transformišuće resurse i zahteve za resursima (tražnju)?
- Kako kontinuirano tražiti odgovore na prethodna četiri pitanja?

Drugi pravac proizilazi iz prvog, i predstavlja formalizaciju originalnog modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Sam model

implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima operacionalizuje principe lin pristupa u specifičnom okruženju. Model implementacije sugerise niz koraka primene prilagođenih principa lin pristupa u cilju unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. Prikazom formalizacije modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema je potvrđena pojedinačna hipoteza:

H1.5 Moguće je formalizovati model implementacije lin pristupa u nerepetitivnom proizvodnom sistemu.

Pored potvrde hipoteze, ovaj deo istraživanja je značajan i sa praktičnog aspekta, jer praktičarima daje logičkih pretpostavki koje su namenjene vođenju implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Model predstavlja strukturirani pristup davanju odgovora na pitanja koja su identifikovana u analizi principa lin pristupa. Iako se u modelu spominju neki od prepoznatljivih alata lin pristupa, oni ne predstavljaju njegovu suštinu, već samo neke od mogućih pravaca delovanja u cilju rešavanja problema i unapređivanja operativnih performansi. Srž modela predstavljaju principi lin pristupa, i ovo je prvi pokušaj (koliko je autoru poznato) da se formalizuje način na koji se ti principi mogu implementirati u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

Potvrđivanjem pojedinačnih hipoteza H1.1 do H1.5 je potvrđena i posebna hipoteza:

H1 Moguće je implementirati lin pristup u nerepetitivnim proizvodnim sistemima.

U cilju istraživanja pojma i značaja operativnih performansi, izvršeno istraživanje literature o operativnim performansama proizvodnih sistema, sa posebnim osvrtom na protočno vreme i pouzdanost isporuke kao operativne performanse od posebnog značaja. U ovom delu istraživanja je poseban akcenat stavljen na značaj koji kratka protočna vremena i pouzdana isporuka mogu imati za nerepetitivne proizvodne sisteme. Na osnovu rezultata istraživanja su izvedeni sledeći zaključci:

- Operativne performanse predstavljaju učinak kompanije koji se meri u odnosu na standardne ili propisane indikatore efektivnosti, efikasnosti ili ekološke odgovornosti;

- Protočno vreme i pouzdanost isporuke predstavljaju operativne performanse koje su od posebnog značaja na nerepetitivne proizvodne sisteme, i mogu predstavljati izvor konkurentske prednosti na tržištu;
- Kratko protočno vreme i pouzdana isporuka omogućavaju nerepetitivnim proizvodnim sistemima da budu brži (kraće protočno vreme) i bolji (veća pouzdanost isporuke) u odnosu na konkurente;
- Protočno vreme i pouzdanost isporuke su u direktnoj vezi, i jedan od načina unapređenja pouzdanosti isporuke je skraćanje protočnog vremena
- Protočno vreme i pouzdanost isporuke predstavljaju operativne performanse koje pokazuju koliko su nerepetitivni proizvodni sistemi uspešni u odnosu na postavljene ciljeve, kao i u odnosu na konkurenciju.

U ovom delu istraživanja je potvrđena pojedinačna hipoteza:

H2.1 Protočno vreme i pouzdanost isporuke su elementi skupa operativnih performansi kompanije.

Skup operativnih performansi nije ograničen samo na protočno vreme i pouzdanost isporuke, i može biti velik. Međutim, protočno vreme i pouzdanost isporuke su kao operativne performanse veoma značajni, posebno za nerepetitivne proizvodne sisteme, pa je zbog toga značajno analizirati načine na koje se operativne ove operativne performanse mogu unaprediti.

Kako bi se proverila mogućnost unapređenja protočnog vremena i pouzdanosti isporuke u nerepetitivnim proizvodnim sistemima primenom lin pristupa, model implementacije koji je razvijen je primenjen u kompaniji ALPHA, koja predstavlja tipičan nerepetitivni proizvodni sistem. Mogućnost primene modela i postizanja rezultata je prvo proverena kroz simulaciju, gde su rezultati pokazali da primena modela može unaprediti protočno vreme i pouzdanost isporuke. Nakon toga je usledilo empirijsko istraživanje, gde se pristupilo primeni modela. U svrhu provere efekata primene modela, u kompaniji ALPHA su prikupljani podaci za dva perioda: od januara do avgusta 2015. godine, odnosno period pre implementacije modela, i od septembra do decembra 2015. godine, što predstavlja period nakon primene modela.

Statističkom analizom podataka o protočnom vremenu je utvrđeno da je prosečno protočno vreme u kompaniji ALPHA smanjeno sa 20,17 dana, koliko je iznosilo pre primene modela, na 13,43 dana koliko je iznosilo nakon primene modela. Pored srednjeg protočnog vremena, smanjena je i standardna devijacija protočnog vremena, i to sa 19,82, koliko je iznosila pre primene modela, na 10,02, koliko je iznosila nakon primene modela. Ovi rezultati potvrđuju pojedinačnu hipotezu:

H2.2 Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa skratiti protočna vremena u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Pouzdanost isporuke u kompaniji ALPHA je merena preko dva parametra:

- Procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke; i
- Prosečno vreme kašnjenja u isporuci.

Kako bi se analizirao uticaj primene modela implementacije lin pristupa u kompaniji ALPHA na smanjenje procenta poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka, postavljeno je pitanje da li je procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isti pre i nakon primene modela implementacije lin pristupa? Statističkom analizom podataka o procentu poslova koji su završeni na vreme, odnosno uz kašnjenje, utvrđeno je da je procenat poslova koji su završeni nakon isteka definisanog roka isporuke smanjen sa 55,5% iz perioda pre primene modela na 46,7% u periodu nakon primene modela.

Drugi parametar kroz koji je merena pouzdanost isporuke je prosečno vreme kašnjenja poslova. Statističkom analizom vremena kašnjenja poslova je utvrđeno da je došlo do smanjenja prosečnog vremena kašnjenja u isporuci nakon primene modela, u odnosu na period pre primene modela. Pre primene modela prosečno vreme kašnjenja u isporuci je iznosilo 12,73 dana, dok je nakon primene modela smanjeno na 7,16 dana. Smanjenje procenta poslova koji su završeni nakon definisanog roka isporuke, kao i smanjenje prosečnog vremena kašnjenja u isporuci, potvrđuju pojedinačnu hipotezu:

H2.3 Moguće je primenom modela lin pristupa povećati pouzdanost isporuke gotovih proizvoda, odnosno smanjiti procenat poslova koji su završeni nakon isteka

definisano roka isporuke, kao i prosečno vreme kašnjenja u isporuci u nerepetitivnim proizvodnim sistemima

Potvrđivanjem pojedinačnih hipoteza H2.1 do H2.3 potvrđena je i posebna hipoteza:

H2 Moguće je primenom modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnom okruženju uticati na operativne performanse kompanije

Potvrđivanjem svih pojedinačnih i posebnih hipoteza potvrđena je i opšta hipoteza (H0) u istraživanju:

H0 Moguće je primenom lin pristupa unaprediti operativne performanse nerepetitivnih proizvodnih sistema.

U ovom istraživanju su postignuti sledeći naučni doprinosi:

- Razvijen je originalni model implementacije lin pristupa koji je prilagođen karakteristikama nerepetitivnih proizvodnih sistema;
- Kroz simulaciju i empirijsko istraživanje su proverene mogućnosti primene modela implementacije lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima za unapređenje operativnih performansi;
- Izvršena je ocena predloženog modela na osnovu evaluacije rezultata provere;
- Dat je pregled postojećeg stanja u izučavanju lin pristupa, sa posebnim osvrtom na primenu lin pristupa u nerepetitivnim proizvodnim sistemima;
- Dat je kritički osvrt na dosadašnje rezultate istraživanja u ovoj oblasti;
- Date su preporuke za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

7.2 Ograničenja istraživanja

Bez obzira na rezultate dobijene ovim istraživanjem, treba reći da postoji određeni broj ograničenja koje treba imati u vidu:

- Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema je proveren samo na jednom primeru. Iako je model detaljno opisan, kao i postupak njegove primene u kompaniji APLHA, što obezbeđuje ponovljivost istraživanja, opštost rezultata je donekle umanjena, s

obzirom da je model primenjen samo u jednom nerepetitivnom proizvodnom sistemu;

- Model je proveren samo na užem skupu operativnih performansi, konkretno na podskupu operativnih performansi koji čine protočno vreme i pouzdanost isporuke. Iako je model razvijen tako da se može primeniti za unapređenje bilo kojeg skupa operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema, mora se uzeti u obzir da je provera modela urađena na ograničenom skupu;
- Model je, kao i sam lin pristup, neprekidnog karaktera, i podrazumeva kontinuiran prolazak kroz sve korake modela u cilju unapređenja operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema. S obzirom na vremensku ograničenost istraživanja, model je proveren kroz samo jednu iteraciju, pa nije sa preciznošću moguće tvrditi kakvi se rezultati mogu postići u narednim prolascima kroz model.

Iako se identifikovana ograničenja ne mogu zanemariti, može se zaključiti da je istraživanje sprovedeno na sistematičan i strukturiran način, i da su rezultati istraživanja relevantni i značajni, te da predstavljaju vrednost kako sa stanovišta nauke, tako i sa stanovišta prakse, i da mogu predstavljati osnovu za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

7.3 Budući pravci istraživanja

Budući pravci istraživanja treba da budu fokusirani na prevazilaženje ograničenja koja su identifikovana u prethodnom poglavlju, kao i na unapređenje samog modela implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema.

S tim u vezi, trebalo bi proveriti opštost predloženog modela kroz njegovu primenu u drugim proizvodnim sistemima koji se mogu okarakterisati kao nerepetitivni. Pored toga, trebalo bi proveriti kakav uticaj implementacija modela može imati na širi skup operativnih performansi, koji bi pored protočnog vremena i pouzdanosti isporuke uključivao i pokazatelje troškova, kvaliteta, zaliha i slično. Konačno, buduća istraživanja bi trebalo da uključe analizu modela u dužem vremenskom periodu, gde bi bio obezbeđeno nekoliko prolazaka kroz model. Na ovaj način bi se mogla analizirati postojanost i robustnost modela, odnosno mogućnost da se primenom modela

kontinuirano utiče na unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema.

Prethodno identifikovani pravci istraživanja bi mogli dovesti do daljeg usavršavanja modela, pre svega sa stanovišta njegove primenljivosti u različitim nerepetitivnim proizvodnim sistemima. Iako je model formalizovan pre svega za potrebe nerepetitivnih proizvodnih sistema, buduća istraživanja bi mogla da idu u pravcu istraživanja njegove primenljivosti van proizvodnih sistema, u oblastima kao što su usluge, zdravstvo, obrazovanje i slično. Model je zasnovan na principima lin pristupa, pa mu to obezbeđuje izvestan stepen univerzalnosti u primeni, koju bi trebalo proveriti u daljim istraživanjima. Istraživanja u ovom pravcu bi mogla da rezultiraju univerzalnim modelom implementacije lin pristupa, koji bi bio zasnovan na principima čije bi tumačenje bilo nezavisno od okruženja u kojem se lin pristup primenjuje.

Reference

- Aalbregtse, R. J., Hejka, J. A., & McNeley, P. K. (1991). TQM: How do you do it. *Automation, August*, 32, 30-32.
- Adams, J., Balas, E., & Zawack, D. (1988). The shifting bottleneck procedure for job shop scheduling. *Management science*, 34(3), 391-401.
- Amaro, G., Hendry, L., & Kingsman, B. (1999). Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non make-to-stock companies. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(4), 349-371.
- Amoako-Gyampah, K., & Meredith, J. R. (1989). The operations management research agenda: an update. *Journal of Operations Management*, 8(3), 250-262.
- Anand, G., & Kodali, R. (2010). Analysis of lean manufacturing frameworks. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 9(01), 1-30.
- Arts, B., & Verschuren, P. (1999). Assessing political influence in complex decision-making: An instrument based on triangulation. *International Political Science Review*, 20(4), 411-424.
- Ashton, J. E., & Cook, F. X. (1989). Time to reform job shop manufacturing. *Harvard Business Review*, 67(2), 106-111.
- Barman, S., Hanna, M. D., & LaForge, R. L. (2001). Perceived relevance and quality of POM journals: a decade later. *Journal of Operations Management*, 19(3), 367-385.
- Barratt, M., Choi, T. Y., & Li, M. (2011). Qualitative case studies in operations management: trends, research outcomes, and future research implications. *Journal of Operations Management*, 29(4), 329-342.
- Bateman, N., Hines, P., & Davidson, P. (2014). Wider applications for Lean: An examination of the fundamental principles within public sector organisations. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(5), 550-568.

- Behrouzi, F., & Wong, K. Y. (2011). Lean performance evaluation of manufacturing systems: A dynamic and innovative approach. *Procedia Computer Science*, 3, 388-395.
- Beker, I., Morača, S., Lazarević, M., Šević, D., Tešić, Z., Rikalović, A., & Radlovački, V. (2014). *Lean sistem*. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Bellgran, M., & Säfssten, E. K. (2009). *Production development: design and operation of production systems*. Springer Science & Business Media.
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876-940.
- Bhattacharya, A. K., Jina, J., & Walton, A. D. (1996). Product market, turbulence and time compression: Three dimensions of an integrated approach to manufacturing system design. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(9), 34-47.
- Bicheno, J. (2004). *The new lean toolbox: towards fast, flexible flow*. Production and Inventory Control, Systems and Industrial Engineering Books.
- Bicheno, J., & Holweg, M. (2009). *The lean toolbox: The essential guide to lean transformation*. Picsie Books.
- Birkie, S. E., & Trucco, P. (2016). Understanding dynamism and complexity factors in engineer-to-order and their influence on lean implementation strategy. *Production Planning & Control*, 1-15.
- Black, J. T. (2007). Design rules for implementing the Toyota Production System. *International Journal of Production Research*, 45(16), 3639-3664.
- Blackstone, J. H., & Jonah, J. (2013). *APICS dictionary: The essential supply chain reference*. APICS, Chicago, IL.
- Blaikie, N. W. (1991). A critique of the use of triangulation in social research. *Quality & quantity*, 25(2), 115-136.

- Bokhorst, J. A., & Slomp, J. (2010). Lean production control at a high-variety, low-volume parts manufacturer. *Interfaces*, 40(4), 303-312.
- Bortolotti, T., Danese, P., & Romano, P. (2013). Assessing the impact of just-in-time on operational performance at varying degrees of repetitiveness. *International Journal of Production Research*, 51(4), 1117-1130.
- Bozarth, C. C., Warsing, D. P., Flynn, B. B., & Flynn, E. J. (2009). The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance. *Journal of Operations Management*, 27(1), 78-93.
- Braglia, M., Carmignani, G., & Zammori, F. (2006). A new value stream mapping approach for complex production systems. *International journal of production research*, 44(18-19), 3929-3952.
- Chang, T. M., & Yih, Y. (1994). Generic kanban systems for dynamic environments. *The International Journal Of Production Research*, 32(4), 889-902.
- Chavez, R., Gimenez, C., Fynes, B., Wiengarten, F., & Yu, W. (2013). Internal lean practices and operational performance: The contingency perspective of industry clockspeed. *International Journal of Operations & Production Management*, 33(5), 562-588.
- Cialdini, R. B., & Goldstein, N. J. (2004). Social influence: Compliance and conformity. *Annual Review of Psychology*, 55, 591-621.
- Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioural sciences. *Lawrence Earlbaum Associates.: Hillsdale, New Jersey*.
- Cooney, R. (2002). Is “lean” a universal production system? Batch production in the automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(10), 1130-1147.
- Cusumano, M. A. (1985). *The Japanese automobile industry: Technology and management at Nissan and Toyota* (Vol. 122). Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Cusumano, M. A. (1994). The Limits of "Lean". *Sloan Management Review*, 35, 27-27.
- Cyert, R.M., March, J.G. (1992). A Behavioral Theory of the Firm, 2nd ed. *Blackwell, Oxford*.
- De Toni, A., & Panizzolo, R. (1993). Operations management techniques in intermittent and repetitive manufacturing: a conceptual framework. *International journal of operations & production management*, 13(5), 12-32.
- Deflorin, P., & Scherrer-Rathje, M. (2012). Challenges in the transformation to lean production from different manufacturing-process choices: a path-dependent perspective. *International Journal of Production Research*, 50(14), 3956-3973.
- Didsbury, B. M. (1988). The Key Elements And Concepts Of A Repetitive MANufacturing. *Production and Inventory Management Journal*, 29(3), 51.
- Djassemi, M. (2014). Lean Adoption in Small Manufacturing Shops: Attributes and Challenges. *Journal of Technology, Management & Applied Engineering*, 30(1).
- Eloranta, E. (1992). The future factory: Challenge for one-of-a-kind production. *International journal of production economics*, 28(2), 131-142.
- Enns, S. T. (1995). An economic approach to job shop performance analysis. *International journal of production economics*, 38(2-3), 117-131.
- Erzberger, C., & Prein, G. (1997). Triangulation: Validity and empirically-based hypothesis construction. *Quality and Quantity*, 31(2), 141-154.
- Farmer, T., Robinson, K., Elliott, S. J., & Eyles, J. (2006). Developing and implementing a triangulation protocol for qualitative health research. *Qualitative health research*, 16(3), 377-394.
- Flynn, B. B., Sakakibara, S., & Schroeder, R. G. (1995). Relationship between JIT and TQM: practices and performance. *Academy of management Journal*, 38(5), 1325-1360.

- Fynes, B., De Búrca, S., & Marshall, D. (2004). Environmental uncertainty, supply chain relationship quality and performance. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 10(4), 179-190.
- Gargeya, V. B., & Thompson, J. P. (1994). Just-in-time production in small job shops. *Industrial Management*, 36(4), 23-26.
- Gaury, E. G. A., Kleijnen, J. P. C., & Pierreval, H. (2001). A methodology to customize pull control systems. *Journal of the Operational Research Society*, 55(7), 789-799.
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (1984). *The goal: Excellence in manufacturing*. North River Press.
- Gong, Q., Wang, S., & LAi, K. K. (2009). Stochastic analysis of TPS: expose and eliminate variability by highly specifying WCP. *International Journal of Production Research*, 47(3), 751-775.
- Gosling, J., & Naim, M. M. (2009). Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. *International Journal of Production Economics*, 122(2), 741-754.
- Guan, Z., Peng, Y., Ma, L., Zhang, C., & Li, P. (2008). Operation and control of flow manufacturing based on constraints management for high-mix/low-volume production. *Frontiers of Mechanical Engineering in China*, 3(4), 454-461.
- Gunasekaran, A., Patel, C., & Tirtiroglu, E. (2001). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International journal of operations & production Management*, 21(1/2), 71-87.
- Hakes, C. (1991). *Total quality management: the key to business improvement*. Springer Science & Business Media.
- Hall, R. W. (1983). *Zero inventories*. Homewood, IL: Dow Jones-Irwin.
- Hallihan, A., Sackett, P., & Williams, G. M. (1997). JIT manufacturing: The evolution to an implementation model founded in current practice. *International Journal of Production Research*, 35(4), 901-920.

- Harrison, A. (1992). *Just-in-Time: manufacturing in perspective*. Prentice Hall.
- Hayes, R. H. (1981). Why Japanese factories work. *Harvard Business Review*, 59, 56-66.
- Hayes, R. H., & Pisano, G. P. (1994). Beyond World-Class: The New Manufacturing Strategy. *Harvard Business Review*, 72(1), 77-86.
- Hayes, R. H., & Wheelwright, S. C. (1979). Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard business review*, 57(1), 133-140.
- Heizer, J. H., & Render, B. (2011). *Operations management (10th edition)*. Pearson Prentice Hall.
- Helling, J. (1993). *Svetski šampioni: jedna nova generacija proizvodnih preduzeća*. Prometej, Novi Sad.
- Hendry, L. C. (1998). Applying world class manufacturing to make-to-order companies: problems and solutions. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(11), 1086-1100.
- Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (1989). Production planning systems and their applicability to make-to-order companies. *European Journal of Operational Research*, 40(1), 1-15.
- Hicks, C., Earl, C. F., & McGovern, T. (2000). An analysis of company structure and business processes in the capital goods industry in the UK. *Engineering Management, IEEE Transactions on*, 47(4), 414-423.
- Hill, A. V. (2012). *The encyclopedia of operations management: a field manual and glossary of operations management terms and concepts*. FT Press.
- Hill, T. (1993). *Manufacturing strategy: the strategic management of the manufacturing function* (2nd ed.). Basingstoke: Macmillan.
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994-1011.

- Holweg, M. (2005). The three dimensions of responsiveness. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(7), 603-622.
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of operations management*, 25(2), 420-437.
- Holweg, M., & Pil, F. K. (2001). Start with the customer. *MIT Sloan Management Review*, 43(1), 74-83.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2004). To pull or not to pull: what is the question?. *Manufacturing & Service Operations Management*, 6(2), 133-148.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2008). *Factory physics*. Waveland Press.
- Horbal, R., Kagan, R., & Koch, T. (2008). Implementing lean manufacturing in high-mix production environment. In *Lean business systems and beyond* (pp. 257-267). Springer US.
- Hüttmeir, A., de Treville, S., van Ackere, A., Monnier, L., & Prenninger, J. (2009). Trading off between heijunka and just-in-sequence. *International Journal of Production Economics*, 118(2), 501-507.
- Imai, M. (1997). *Gemba kaizen: a commonsense, low-cost approach to management*. McGraw Hill Professional.
- James-Moore, S. M., & Gibbons, A. (1997). Is lean manufacture universally relevant? An investigative methodology. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(9), 899-911.
- Jayaram, J., Das, A., & Nicolae, M. (2010). Looking beyond the obvious: Unraveling the Toyota production system. *International Journal of Production Economics*, 128(1), 280-291.
- Jick, T. D. (1979). Mixing qualitative and quantitative methods: Triangulation in action. *Administrative science quarterly*, 602-611.

- Jina, J., Bhattacharya, A. K., & Walton, A. D. (1997). Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions. *Logistics Information Management*, 10(1), 5-13.
- Jovanovic, J. R., Milanovic, D. D., & Djukic, R. D. (2014). Manufacturing cycle time analysis and scheduling to optimize its duration. *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*, 60(7-8), 512-524.
- Junior, M. L., & Godinho Filho, M. (2010). Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics*, 125(1), 13-21.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *The balanced scorecard: translating strategy into action*. Harvard Business Press.
- Karim, A., & Arif-Uz-Zaman, K. (2013). A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. *Business Process Management Journal*, 19(1), 169-196.
- Khaswala, Z. N., & Irani, S. A. (2001). Value network mapping (VNM): visualization and analysis of multiple flows in value stream maps. In *Proceedings of the Lean Management Solutions Conference* (pp. 1-18).
- Kingsman, B. G. (2000). Modelling input-output workload control for dynamic capacity planning in production planning systems. *International journal of production economics*, 68(1), 73-93.
- Kingsman, B. G., Tatsiopoulos, I. P., & Hendry, L. C. (1989). A structural methodology for managing manufacturing lead times in make-to-order companies. *European Journal of Operational Research*, 40(2), 196-209.
- Kingsman, B., Hendry, L., Mercer, A., & Souza, A. D. (1996). Responding to customer enquiries in make-to-order companies: problems and solutions. *Production*, 6(2), 195-207.
- Konecki, K. (2008). Triangulation and dealing with the realness of qualitative research. *Qualitative Sociology Review*, 4(3).

- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. *Sloan management review*, 30(1), 41-51.
- Land, M. (2006). Parameters and sensitivity in workload control. *International journal of production economics*, 104(2), 625-638.
- Land, M. J., Stevenson, M., Thürer, M., & Gaalman, G. J. (2015). Job shop control: In search of the key to delivery improvements. *International Journal of Production Economics*, 168, 257-266.
- Lander, E., & Liker, J. K. (2007). The Toyota Production System and art: making highly customized and creative products the Toyota way. *International Journal of Production Research*, 45(16), 3681-3698.
- Lawrence, S. R., & Buss, A. H. (1994). Shifting production bottlenecks: Causes, cures, and conundrums. *Production and Operations Management*, 3(1), 21-37.
- Lee, B. H., & Jo, H. J. (2007). The mutation of the Toyota production system: adapting the TPS at Hyundai Motor Company. *International Journal of Production Research*, 45(16), 3665-3679.
- Lenart, G. M., & Nof, S. Y. (1997). Object-oriented design of information integration in sheet metal manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 10(1-4), 29-50.
- Levi-Jakšić, M., Petrović, B., & Todorović, D. (1994). Profitabilnost proizvodnje. *Fakultet organizacionih nauka, Beograd*.
- Levy, D. L. (1997). Lean production in an international supply chain. *Sloan management review*, 38, 94-102.
- Li, J. W. (2003). Simulation-based comparison of push and pull systems in a job-shop environment considering the context of JIT implementation. *International journal of production research*, 41(3), 427-447.

- Li, J. W. (2005). Investigating the efficacy of exercising JIT practices to support pull production control in a job shop environment. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(7), 765-783.
- Liberopoulos, G., & Dallery, Y. (2000). A unified framework for pull control mechanisms in multi-stage manufacturing systems. *Annals of Operations Research*, 93(1-4), 325-355.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way—14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill. New York, NY.
- Liker, J.K. (1996). *Becoming Lean*. Free Press, New York, NY.
- Liker, J.K., & Wu, Y.C. (2000). Japanese automakers, US suppliers and supply-chain superiority. *Sloan Management Review*, 42(1), 81-93.
- Little, J. D. (1961). A proof for the queuing formula: $L = \lambda W$. *Operations research*, 9(3), 383-387.
- Lödding, H. (2013). *Handbook of manufacturing control: Fundamentals, description, configuration*. Springer Science & Business Media.
- MacCarthy, B. L., & Fernandes, F. C. (2000). A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems. *Production Planning & Control*, 11(5), 481-496.
- Machuca, J. A., González-Zamora, M. D. M., & Aguilar-Escobar, V. G. (2007). Service operations management research. *Journal of Operations Management*, 25(3), 585-603.
- Matt, D. T. (2014). Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems: A case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 25(3), 334-350.
- McIvor, R. (2001). Lean supply: the design and cost reduction dimensions. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(4), 227-242.

- McLachlin, R. (1997). Management initiatives and just-in-time manufacturing. *Journal of Operations Management*, 15(4), 271-292.
- Melchert, E. R., de Mesquita, M. A., & Francischini, P. G. (2006). Lean manufacturing on make-to-order suppliers: a case study. In *12th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (ICIEOM)*.
- Melnyk, S. A., Denzler, D. R., & Fredendall, L. (1992). Variance control vs. dispatching efficiency. *Production and Inventory Management Journal*, 33(3), 6.
- MIT (2000), *Transitioning to a Lean Enterprise: A Guide for Leaders*, 1/2/3, preuzeto sa: https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/81896/PRD_TTL_Vol1_2000.pdf
- Monden, Y. (1981a). Adaptable kanban system helps Toyota maintain just-in-time production. *Industrial Engineering*, 13(5), 29.
- Monden, Y. (1981b). What makes the Toyota production system really tick. *Industrial Engineering*, 13(1), 36-46.
- Monden, Y. (1983). *Toyota production system: practical approach to production management*. Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers.
- Monden, Y. (2011). *Toyota production system: an integrated approach to just-in-time*. CRC Press.
- Muda, M. S., & Hendry, L. (2003). The SHEN model for MTO SMEs: a performance improvement tool. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(5), 470-486.
- Muda, S., & Hendry, L. (2002a). Proposing a world-class manufacturing concept for the make-to-order sector. *International Journal of Production Research*, 40(2), 353-373.
- Muda, S., & Hendry, L. (2002b). Developing a new world class model for small and medium sized make-to-order companies. *International Journal of Production Economics*, 78(3), 295-310.

- Narasimhan, R., Swink, M., & Kim, S. W. (2006). Disentangling leanness and agility: an empirical investigation. *Journal of operations management*, 24(5), 440-457.
- Narasimhan, R., Talluri, S., & Das, A. (2004). Exploring flexibility and execution competencies of manufacturing firms. *Journal of Operations Management*, 22(1), 91-106.
- Nordstokke, D. W., & Zumbo, B. D. (2010). A new nonparametric Levene test for equal variances. *Psicológica: Revista de metodología y psicología experimental*, 31(2), 401-430.
- Nyhuis, P., & Wiendahl, H. P. (2008). *Fundamentals of production logistics: theory, tools and applications*. Springer Science & Business Media.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. Productivity press.
- Ohno, T., & Kumagai, T. (1980). Toyota Production System. In: *International Conference on Industrial Systems Engineering in Developing Countries*, Bangkok, November.
- Olhager, J., & Prajogo, D. I. (2012). The impact of manufacturing and supply chain improvement initiatives: A survey comparing make-to-order and make-to-stock firms. *Omega*, 40(2), 159-165.
- Oosterman, B., Land, M., & Gaalman, G. (2000). The influence of shop characteristics on workload control. *International Journal of Production Economics*, 68(1), 107-119.
- Pannirselvam, G. P., Ferguson, L. A., Ash, R. C., & Siferd, S. P. (1999). Operations management research: an update for the 1990s. *Journal of Operations Management*, 18(1), 95-112.
- Papadopoulou, T. C., & Özbayrak, M. (2005). Leanness: experiences from the journey to date. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(7), 784-807.

- Paul, J. (1996). Between-method triangulation in organizational diagnosis. *The International Journal of Organizational Analysis*, 4(2), 135-153.
- Plossl, G. W. (1985). *Production and inventory control: principles and techniques*. Prentice-Hall.
- Portioli, A. (2002). General bucket: a new release procedure for workload control. *International Working Seminar on Production Economics, Pre-Prints*, 2, 305–406.
- Portioli-Staudacher, A., & Tantardini, M. (2012a). A lean-based ORR system for non-repetitive manufacturing. *International Journal of Production Research*, 50(12), 3257-3273.
- Portioli–Staudacher, A., & Tantardini, M. (2012b). Lean implementation in non–repetitive companies: a survey and analysis. *International Journal of Services and Operations Management*, 11(4), 385-406.
- Powell, D., Strandhagen, J. O., Tommelein, I., Ballard, G., & Rossi, M. (2014). A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-order Manufacturers. *Procedia CIRP*, 17, 571-576.
- Radović, M. (2008). *Projektovanje proizvodnih sistema*. Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
- Radovic, M., Tomasevic, I., Stojanovic, D., & Simeunovic, B. (2009). An excellence role model-Designing a new business system one process at a time. *Industrial Engineer*, 41(8), 44-48.
- Romero, D., & Chávez, Z. (2011). Use of value mapping tools for manufacturing systems redesign. In *Proceedings of the World Congress on Engineering* (Vol. 1).
- Ruffa, S. A. (2008). *Going lean: How the best companies apply lean manufacturing principles to shatter uncertainty, drive innovation, and maximize profits*. AMACOM Div American Mgmt Assn.
- Schmenner, R. W., & Swink, M. L. (1998). On theory in operations management. *Journal of Operations Management*, 17(1), 97-113.

- Schonberger, R. (1982a). *Japanese manufacturing techniques: Nine hidden lessons in simplicity*. Simon and Schuster.
- Schonberger, R. J. (1982b). Some observations on the advantages and implementation issues of just-in-time production systems. *Journal of Operations Management*, 3(1), 1-11.
- Schonberger, R. J. (1986). *World Class Manufacturing: The Lessons of Simplicity Applied*. New York: Free Press.
- Schonberger, R. J. (1996). *World Class Manufacturing: The Next Decade*. New York: Free Press.
- Schrageheim, E., & Ronen, B. (1990). Drum-buffer-rope shop floor control. *Production and Inventory Management Journal*, 31(3), 18-22.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of operations management*, 21(2), 129-149.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of operations management*, 25(4), 785-805.
- Shingo, S. (1981). *Study of Toyota Production System from Industrial Engineering View-Point*. Japan Management Association.
- Shingo, S. (1985). *A revolution in manufacturing: the SMED system*. Productivity Press.
- Shingo, S. (1989). *A study of the Toyota production system: From an Industrial Engineering Viewpoint*. Productivity Press.
- Silva, S. C., Alves, A. C., & Moreira, F. (2006). Linking production paradigms and organizational approaches to production systems. In Pham, D. T., Eldukhri, E. E., & Soroka, A. J. (Eds.). (2011). *Intelligent Production Machines and Systems-2nd I* PROMS Virtual International Conference 3-14 July 2006*. Elsevier.
- Simchi-Levi, D., & Trick, M. A. (2011). Introduction to "Little's Law as Viewed on Its 50th Anniversary". *Operations Research*, 59(3), 535-535.

- Simpson, D. F., & Power, D. J. (2005). Use the supply relationship to develop lean and green suppliers. *Supply chain management: An international Journal*, 10(1), 60-68.
- Slomp, J., Bokhorst, J. A., & Germs, R. (2009). A lean production control system for high-variety/low-volume environments: a case study implementation. *Production Planning and Control*, 20(7), 586-595.
- Slović, D. (2007). *Povećanje efikasnosti proizvodnje kontinualnim unapređivanjem procesa i stimulativnim zaradama*, Doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka, Beograd.
- Slović, D., Stojanović, D., & Tomašević, I. (2015). Productivity Upswing Through Two-Phase Continuous Process Improvement Model: The Case Of Apparel Manufacturer. *Journal of Textile & Apparel/Tekstil ve Konfeksiyon*, 25(2). 89-96.
- Slović, D., Tomašević, I., & Radović, M. (2016). Improving Productivity in the Apparel Industry Through Gain Sharing and Continuous Process Improvement: the Case of a Serbian Manufacturer. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 24, 2(116). 15-22.
- So, S., & Sun, H. (2010). Supplier integration strategy for lean manufacturing adoption in electronic-enabled supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(6), 474-487.
- Soteriou, A. C., Hadjinicola, G. C., & Patsia, K. (1999). Assessing production and operations management related journals: the European perspective. *Journal of Operations Management*, 17(2), 225-238.
- Spear, S., & Bowen, H. K. (1999). Decoding the DNA of the Toyota production system. *Harvard Business Review*, 77, 96-108.
- Spearman, M. L., Woodruff, D. L., & Hopp, W. J. (1990). CONWIP: a pull alternative to kanban. *The International Journal of Production Research*, 28(5), 879-894.
- Spencer, M. S., & Cox, J. F. (1995). An analysis of the product-process matrix and repetitive manufacturing. *The International Journal Of Production Research*, 33(5), 1275-1294.

- Spencer, M., & Cox, J. F. (1994). Sales and manufacturing coordination in repetitive manufacturing: characteristics and problems. *International journal of production economics*, 37(1), 73-81.
- Stevenson, M. (2006). Refining a workload control (WLC) concept: a case study. *International Journal of Production Research*, 44(4), 767-790.
- Stevenson, M., Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International journal of production research*, 43(5), 869-898.
- Stockton, D. J., & Lindley, R. J. (1995). Implementing kanbans within high variety/low volume manufacturing environments. *International Journal of operations & production management*, 15(7), 47-59.
- Stommel, H. J., & Kunz, D. (1973). *Untersuchungen über Durchlaufzeiten in Betrieben der metallverarbeitenden Industrie mit Einzel-und Kleinserienfertigung* (Vol. 2355). Opladen.
- Storch, R. L., & Lim, S. (1999). Improving flow to achieve lean manufacturing in shipbuilding. *Production Planning & Control*, 10(2), 127-137.
- Stump, B., & Badurdeen, F. (2012). Integrating lean and other strategies for mass customization manufacturing: a case study. *Journal of Intelligent manufacturing*, 23(1), 109-124.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *The International Journal of Production Research*, 15(6), 553-564.
- Suri, R. (2003). QRM and POLCA: A winning combination for manufacturing enterprises in the 21st century. *Center for Quick Response management Technical Report*.
- Suri, R., & Krishnamurthy, A. (2003). How to Plan and Implement POLCA—A Material Control System for High Variety or Custom-Engineered Products. *Center for Quick Response management Technical Report*.

- Taj, S., & Berro, L. (2006). Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 55(3/4), 332-345.
- Takahashi, K., & Nakamura, N. (1999). Reacting JIT ordering systems to the unstable changes in demand. *International Journal of Production Research*, 37(10), 2293-2313.
- Tantardini, M. (2011). *New Frontiers for the Lean Approach: Managing Non Repetitive Operations*. Doktorska disertacija, Politecnico di Milano.
- Theoharakis, V., Voss, C., Hadjinicola, G. C., & Soteriou, A. C. (2007). Insights into factors affecting Production and Operations Management (POM) journal evaluation. *Journal of Operations Management*, 25(4), 932-955.
- Thürer, M., Stevenson, M., & Protzman, C. W. (2015). COBACABANA (Control of Balance by Card Based Navigation): An alternative to kanban in the pure flow shop?. *International Journal of Production Economics*, 166, 143-151.
- Thürer, M., Stevenson, M., & Silva, C. (2011). Three decades of workload control research: a systematic review of the literature. *International Journal of Production Research*, 49(23), 6905-6935.
- Thürer, M., Stevenson, M., Silva, C., Land, M. J., & Fredendall, L. D. (2012). Workload Control and Order Release: A Lean Solution for Make-to-Order Companies. *Production and Operations Management*, 21(5), 939-953.
- Thürer, M., Stevenson, M., Silva, C., Land, M. J., Fredendall, L. D., & Melnyk, S. A. (2014). Lean Control for Make-to-Order Companies: Integrating Customer Enquiry Management and Order Release. *Production and Operations Management*, 23(3), 463-476.
- Todorović, J. (1997). Japanski menadžment – tajne uspeha japanske proizvodnje. *Fakultet organizacionih nauka, Beograd*.

- Tomašević, I., Stojanović, D., & Simeunović, B. (2014). Operations Management Research: An Update For 21st Century. *Proceedings of XIV International conference SYMORG 2014*. Zlatibor, Serbia, 1280-1287
- Tomašević, I., Stojanović, D., Simeunović, B., & Slović, D. (2013). *Praktična primenjivost kontrole opterećenja u proizvodnji*. U Levi Jakšić, M., & Lečić-Cvetković, D. (Eds.), XI Skup privrednika i naučnika SPIN '13 – Nova industrializacija, reinženjering i održivost (pp. 231-238). Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka.
- Towill, D. R. (2010). Industrial engineering the Toyota production system. *Journal of Management History*, 16(3), 327-345.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222.
- Treville, S. D., & Antonakis, J. (2006). Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual, configurational, and levels-of-analysis issues. *Journal of Operations Management*, 24(2), 99-123.
- Tully, H. (1963). Fertigungssteuerung im Werkzeugmaschinenbau. *Werkstattstechnik*, 53(9), 435-442.
- Voss, C. A. (1984). Japanese manufacturing management practices in the UK. *International Journal of Operations & Production Management*, 4(2), 31-38.
- Voss, C. A., & Robinson, S. J. (1987). Application of just-in-time manufacturing techniques in the United Kingdom. *International Journal of Operations & Production Management*, 7(4), 46-52.
- Wacker, J. G. (1998). A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management. *Journal of operations management*, 16(4), 361-385.
- Wan, H., & Chen, F. F. (2009). Decision support for lean practitioners: A web-based adaptive assessment approach. *Computers in Industry*, 60(4), 277-283.

- Wheelwright, S. C. (1984). Manufacturing strategy: defining the missing link. *Strategic management journal*, 5(1), 77-91.
- White, R. E., & Prybutok, V. (2001). The relationship between JIT practices and type of production system. *Omega*, 29(2), 113-124.
- Wiendahl, H. P. (1995). *Load-oriented manufacturing control*. Berlin etc.: Springer.
- Wiendahl, H. P., Reichardt, J., & Nyhuis, P. (2015). *Handbook Factory Planning and Design*. Springer.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1994). From lean production to lean enterprise. *Harvard business review*, 72(2), 93-103.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. Simon and Schuster.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York: Rawson Associates.
- Yang, L. R. (2013). Key practices, manufacturing capability and attainment of manufacturing goals: The perspective of project/engineer-to-order manufacturing. *International Journal of Project Management*, 31(1), 109-125.
- Yusof, S. R. M., & Aspinwall, E. (2000). Total quality management implementation frameworks: comparison and review. *Total Quality Management*, 11(3), 281-294.
- Zhu, Z., Meredith, P. H., & Makboonprasith, S. (1994). Defining critical elements in JIT implementation: a survey. *Industrial Management & Data Systems*, 94(5), 3-10.
- Zimmerman, D. W. (2004). Inflation of type I error rates by unequal variances associated with parametric, nonparametric, and rank-transformation tests. *Psicológica: Revista de metodología y psicología experimental*, 25(1), 103-133.
- Zipkin, P.H. (1991). Does manufacturing need a JIT revolution? *Harvard Business Review*, 69(1), 40-50.

Prilog 1: Simulacioni model

U prilogu je dat kod za simulacioni mode koji je korišćen u istraživanju. Simulacioni model je implementiran u programskom jeziku Python[©] uz korišćenje modula za simulaciju diskretnih događaja Simpy[©].

Prilog 1a: Kod simulacionog modela

```
from __future__ import division ; from SimPy.Simulation import * ; from random import *
from math import sqrt, floor ; import random ; import shelve ; from SimPy.SimulationStep
import *

#Ova klasa sadrži globalne promenljive.
class GVar():

#-----Definise korisnik

    #Parametri simulacije
    warmUpPeriod = 3000.0
    RunTime = 10000.0
    NumberOfRuns = 100

    #Karakteristike radionice i poslova
    meanTBA = 0.64814

    GFS = True #Radionica sa dominantnim tokom

    #Definisanje rokova isporuke
    randomValueDD = True #Rokovi isporuke se definisu dodavanjem faktora iz uniformne
raspodele na vreme dolaska novog posla
    RVminmax = [30,45] #Minimalna i maksimalna vrednost za definisanje roka isporuke

    #Pravilo za selekciju poslova iz skupa poslova
    PoolSelectPRD = False
    PRD_k = 3

    #---Kontrola pustanja novih poslova (trenutno pustanje je podrazumevano podesavanje)
    LUMSCOR = False
    NormLUMSCOR = 10
    CheckPeriodLUMSCOR = 4.0

    #---Dispeciranje (FIFO je podrazumevano podesavanje)
    ODD_original = False
    ODD_k = 5

    ODD_Land = False

    SPT = False

#-----sistemski podaci
    ShopFloor = {} #radionica

    #kalkulacija opterećenja
    processedLoad = {} #prati opterećenje vezano za poslove koji su završeni
    releasedLoad = {} #prati opterećenje vezano za poslove koji su pusteni u proizvodnju
    for WC in ['WC1','WC2','WC3','WC4','WC5','WC6']:
        processedLoad[WC] = 0
        releasedLoad[WC] = 0

    #cuvanje rezultata
    ReturnValue = [] #koristi se za cuvanje rezultata
    JobTardy = 0 #broji poslove koji kasne sa isporukom
    JobTardyDD = 0
    GrossThroughputTime = [0]*6
    ThroughputTime = [0]*6
    Tardiness = [0]*6
    NumberTardy = [0]*6
    Number = [0]*6

    #izracunavanje stepena koriscenja kapaciteta
    CalculateUtiliz = 0

#-----
```

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

```
#Ova klasa sadrzi metode koriscene u simulaciji
class GFunc():
    def LognormTruncated(self):
        returnValue = 100
        while returnValue > 4.0:
            returnValue = random.lognormvariate(0.055,1.8)
        return returnValue

#U ovoj klasi se generisu novi poslovi
class Source(Process):
    def generateRandomArrivalExp(self,meanTBA):
        i = 1
        while True:
            order = Order(name='Job%07d'%(i,))
            activate(order,order.process())
            t = expovariate(1/meanTBA)
            yield hold, self, t
            i +=1
            if now() >= (GVar.WarmUpPeriod+GVar.RunTime)*GVar.NumberOfRuns:
                break

#U ovoj klasi se definisu rokovi isporuke
class CEM():
    #Rokovi isporuke se definisu dodavanjem faktora iz uniformne raspodele na vreme
    #dolaska novog posla
    def randomValueDD(self):
        returnValue = now()+ random.uniform(GVar.RVminmax[0],GVar.RVminmax[1]) #Rok
    #je definisan
    return returnValue

#Ova klasa sadrzi razlicita pravila za kontrolu posla
class ReleaseControl(Process):
    #Pravilo za pustanje poslova (sastoji se iz periodicnog i kontinuiranog dela)
    def LUMSCOR_PeriodicPart(self):
        while True:
            yield hold, self, 100000000000
            #Poslovi u skupu poslova se redjaju prema definisanom pravilu (podrazumevano
            #podesavanje je FIFO)
            if GVar.PoolSelectPRD:
                released.waits.sort(key=lambda job: job[0].PRD)

            #Selekcija poslova za pustanje
            for job in released.waits:
                #Opterecenje se dodeljuje radnim centrima
                for WC in job[0].routeingSequence:
                    Gvar.releasedLoad[WC] +=
job[0].procTime[WC]/(job[0].routeingSequence.index(WC)+1)
                job[0].released=True
            #Opterecenje radnih centara se upoređuje sa maksimalnim dozvoljenim
            #opterecenjem
            #Ukoliko opterecenje prelazi maksimalno dozvoljeno status posla
            #('released') se vraća na False
            for WC in job[0].routeingSequence:
                if Gvar.releasedLoad[WC]-Gvar.processedLoad[WC] > GVar.NormLUMSCOR:
                    job[0].released=False
            #Ukoliko je maksimalno opterećenje prekoraceno posao se vraća u skup i
            #oduzima se opterećenje sa radnih centara
            if job[0].released == False:
                for WC in job[0].routeingSequence:
                    Gvar.releasedLoad[WC] -=
job[0].procTime[WC]/(job[0].routeingSequence.index(WC)+1)

            #Pustanje posla
            released.signal()

    #Kontinuirani deo pustanja posla
    def LUMSCOR_ContinuousTrigger(self):
        while True:
            yield waitevent, self, WLTrigger
            #Redjanje poslova u skupu poslova prema izabranom pravilu
            if GVar.PoolSelectPRD:
                released.waits.sort(key=lambda job: job[0].PRD)

            #Selekcija poslova za pustanje
            for job in released.waits:
                #Opterecenje se dodeljuje radnim centrima
                for WC in job[0].routeingSequence:
                    Gvar.releasedLoad[WC] +=
job[0].procTime[WC]/(job[0].routeingSequence.index(WC)+1)
                job[0].released=True
```

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

```
#Opterećenje radnih centara se upoređuje sa maksimalnim dozvoljenim
opterećenjem
#Ukoliko opterećenje prelazi maksimalno dozvoljeno status posla
('released') se vraća na False
for WC in job[0].routeingSequence:
    if Gvar.releasedLoad[WC]-Gvar.processedLoad[WC] > Gvar.NormLUMSCOR:
        job[0].released=False
#Ukoliko je maksimalno opterećenje prekoraceno posao se vraća u skup i
oduzima se opterećenje sa radnih centara
if job[0].released == False:
    for WC in job[0].routeingSequence:
        Gvar.releasedLoad[WC] -=
job[0].procTime[WC]/(job[0].routeingSequence.index(WC)+1)

#Pustanje posla
released.signal()

#Ova klasa sadrži životni ciklus posla
class Order(Process):
    #Ovaj metod se poziva automatski kada se kreira objekat Porudzbina (Order)
    #On inicijalizuje osnovne informacije o poslu
    def __init__(self,name):
        Process.__init__(self,name)
        self.released = False
        self.routeingSequence =
sample(['WC1','WC2','WC3','WC4','WC5','WC6'],random.randint(1,6))
if Gvar.GFS: self.routeingSequence.sort() # ukoliko je kretanje usmereno
self.procTime = {}
for WC in self.routeingSequence:
    self.procTime[WC] = GFunc().LognormTruncated()
self.EntryTime = now()
self.ReleaseTime = 0
self.DueDate = CEM().randomValueDD()
self.PRD = self.DueDate - (len(self.routeingSequence)*Gvar.PRD_k)
if Gvar.ODD_original or Gvar.ODD_Land:
    self.ODDs = {}
    for WC in self.routeingSequence:
        self.ODDs[WC] = self.DueDate - ((len(self.routeingSequence)-
(self.routeingSequence.index(WC)+1))*Gvar.ODD_k)

    #Ovaj metod sadrži životni ciklus posla
    def process(self):

        WLTrigger.signal('WC1')
        #Posao čeka u skupu poslova da bude pusten
        if Gvar.LUMSCOR:
            #Aktivira se kontinuirani deo pustanja svaki put kada se javi događaj u
            proizvodnji
            #if len(Gvar.ShopFloor[self.routeingSequence[0]].waitQ) +
            len(Gvar.ShopFloor[self.routeingSequence[0]].activeQ) > 0:
                while self.released == False:
                    yield waitevent, self, released
                #else:
                #Posao se pusta a opterećenje dodeljuje radnim centrima
                for WC in self.routeingSequence:
                    Gvar.releasedLoad[WC] +=
self.procTime[WC]/(self.routeingSequence.index(WC)+1)

                #Posao je pusten
                self.ReleaseTime=now()

            #Podesavanje rokova za pojedince operacije (kod podrazumevanog podesavanja se
            ovaj deo ne izvršava)
            if Gvar.ODD_Land:
                slack = self.DueDate-now()
                if slack >= 0:
                    for WC in self.routeingSequence:
                        self.ODDs[WC] = now()+
                        (self.routeingSequence.index(WC)+1)*(slack/len(self.routeingSequence))
                    else:
                        for WC in self.routeingSequence:
                            self.ODDs[WC] = now()

            #Posao ulazi u radionicu i obrađuje se

            #Za svaki radni centar prema redosledu operacija...
            for workCenter in self.routeingSequence:
                workCenterSF = Gvar.ShopFloor[workCenter]
                #...posao čeka u redu da bude obrađen
                yield request, self, workCenterSF
                #Posao se obrađuje
```

```
        yield hold, self, self.procTime[workCenter]

        #Završena je obrada
        WLTrigger.signal('WC1')

        #Provera da li neki radni centar gladije
        #if len(workCenterSF.waitQ) == 0:
        #    WLTrigger.signal(workCenter)

        #Dispeciranje
        if GVar.ODD_original: workCentersSF.waitQ.sort(key=lambda job:
job.ODDs[workCenter])
        if GVar.ODD_Land: workCentersSF.waitQ.sort(key=lambda job:
job.ODDs[workCenter])
        if GVar.SPT: workCentersSF.waitQ.sort(key=lambda job:
job.procTime[workCenter])

        #Posao napusta radni centar
        yield release, self, workCentersSF

        #Opterećenje se dodaje zbiru opterećenja poslova koji su završeni
        GVar.processedLoad[workCenter] +=
self.procTime[workCenter]/(self.routeingSequence.index(workCenter)+1)

        #Beleži opterećenje završenih poslova za racunanje stepena koriscenja
kapaciteta
        GVar.CalculateUtiliz += self.procTime[workCenter]

        #-----Prikupljanje podataka
        recordGrossThroughputTime.observe(now()-self.EntryTime)
        recordThroughputTime.observe(now()-self.ReleaseTime)
        recordLateness.observe(now()-self.DueDate)
        if now()-self.DueDate > 0:
            MeanTardiness = now()-self.DueDate
            GVar.JobTardy += 1
        else: MeanTardiness = 0
        recordMeanTardiness.observe(MeanTardiness)

        #Podaci na osnovu broja faza obrade
        GVar.Number[len(self.routeingSequence)-1] += 1
        GVar.GrossThroughputTime[len(self.routeingSequence)-1] += now() - self.EntryTime
        GVar.ThroughputTime[len(self.routeingSequence)-1] += now() - self.ReleaseTime
        if now()-self.DueDate > 0:
            GVar.Tardiness[len(self.routeingSequence)-1] += now() - self.DueDate
            GVar.NumberTardy[len(self.routeingSequence)-1] += 1

#Ova klasa prikuplja rezultate
class ResultsCollection(Process):
    def collect(self):
        #Ove liste se koriste za cuvanje konacnih podataka
        GrossThroughputTime_mean = []
        ThroughputTime_mean = []
        Lateness_mean = []
        PercentageTardy = []
        MeanTardiness = []
        GrossThroughputTime_var = []
        ThroughputTime_var = []
        Lateness_var = []
        GTT_RL1 = []
        GTT_RL2 = []
        GTT_RL3 = []
        GTT_RL4 = []
        GTT_RL5 = []
        GTT_RL6 = []
        TT_RL1 = []
        TT_RL2 = []
        TT_RL3 = []
        TT_RL4 = []
        TT_RL5 = []
        TT_RL6 = []
        T_RL1 = []
        T_RL2 = []
        T_RL3 = []
        T_RL4 = []
        T_RL5 = []
        T_RL6 = []
        PT_RL1 = []
        PT_RL2 = []
        PT_RL3 = []
        PT_RL4 = []
        PT_RL5 = []
```

```
PT_RL6 = []
HistogrammGrossThroughputTime = []
HistogrammThroughputTime = []
HistogrammLateness = []

print 'Simulacija pocinje'

while now() < (Gvar.WarmUpPeriod+Gvar.RunTime)*Gvar.NumberOfRuns:
    yield hold, self, Gvar.WarmUpPeriod

    print 'Period zagrevanja je zavrsen'

    #Resetuje prikupljanje podataka
    recordGrossThroughputTime.reset()
    recordThroughputTime.reset()
    recordLateness.reset()
    recordMeanTardiness.reset()
    Gvar.JobTardy = 0
    Gvar.GrossThroughputTime = [0]*6
    Gvar.ThroughputTime = [0]*6
    Gvar.Tardiness = [0]*6
    Gvar.NumberTardy = [0]*6
    Gvar.Number = [0]*6

recordGrossThroughputTime.setHistogram(name='GrossThroughputTime', low=0.0, high=100.0, nbins=100)

recordThroughputTime.setHistogram(name='ThroughputTime', low=0.0, high=100.0, nbins=100)
recordLateness.setHistogram(name='Lateness', low=-50.0, high=50.0, nbins=100)

#Pocetak prikupljanja podataka za novi krug simulacije
yield hold, self, Gvar.RunTime
#Rezultati se beleze
GrossThroughputTime_mean.append(recordGrossThroughputTime.mean())
ThroughputTime_mean.append(recordThroughputTime.mean())
Lateness_mean.append(recordLateness.mean())
PercentageTardy.append(Gvar.JobTardy/recordLateness.count())
MeanTardiness.append(recordMeanTardiness.mean())
GrossThroughputTime_var.append(recordGrossThroughputTime.var())
ThroughputTime_var.append(recordThroughputTime.var())
Lateness_var.append(recordLateness.var())
GTT_RL1.append(Gvar.GrossThroughputTime[0]/Gvar.Number[0])
GTT_RL2.append(Gvar.GrossThroughputTime[1]/Gvar.Number[1])
GTT_RL3.append(Gvar.GrossThroughputTime[2]/Gvar.Number[2])
GTT_RL4.append(Gvar.GrossThroughputTime[3]/Gvar.Number[3])
GTT_RL5.append(Gvar.GrossThroughputTime[4]/Gvar.Number[4])
GTT_RL6.append(Gvar.GrossThroughputTime[5]/Gvar.Number[5])
TT_RL1.append(Gvar.ThroughputTime[0]/Gvar.Number[0])
TT_RL2.append(Gvar.ThroughputTime[1]/Gvar.Number[1])
TT_RL3.append(Gvar.ThroughputTime[2]/Gvar.Number[2])
TT_RL4.append(Gvar.ThroughputTime[3]/Gvar.Number[3])
TT_RL5.append(Gvar.ThroughputTime[4]/Gvar.Number[4])
TT_RL6.append(Gvar.ThroughputTime[5]/Gvar.Number[5])
if Gvar.NumberTardy[0] > 0:
    T_RL1.append(Gvar.Tardiness[0]/Gvar.Number[0])
else: T_RL1.append(0)
if Gvar.NumberTardy[1] > 0:
    T_RL2.append(Gvar.Tardiness[1]/Gvar.Number[1])
else: T_RL2.append(0)
if Gvar.NumberTardy[2] > 0:
    T_RL3.append(Gvar.Tardiness[2]/Gvar.Number[2])
else: T_RL3.append(0)
if Gvar.NumberTardy[3] > 0:
    T_RL4.append(Gvar.Tardiness[3]/Gvar.Number[3])
else: T_RL4.append(0)
if Gvar.NumberTardy[4] > 0:
    T_RL5.append(Gvar.Tardiness[4]/Gvar.Number[4])
else: T_RL5.append(0)
if Gvar.NumberTardy[5] > 0:
    T_RL6.append(Gvar.Tardiness[5]/Gvar.Number[5])
else: T_RL6.append(0)
PT_RL1.append(Gvar.NumberTardy[0]/Gvar.Number[0])
PT_RL2.append(Gvar.NumberTardy[1]/Gvar.Number[1])
PT_RL3.append(Gvar.NumberTardy[2]/Gvar.Number[2])
PT_RL4.append(Gvar.NumberTardy[3]/Gvar.Number[3])
PT_RL5.append(Gvar.NumberTardy[4]/Gvar.Number[4])
PT_RL6.append(Gvar.NumberTardy[5]/Gvar.Number[5])

HistogrammGrossThroughputTime.append(recordGrossThroughputTime.getHistogram())
HistogrammThroughputTime.append(recordThroughputTime.getHistogram())
HistogrammLateness.append(recordLateness.getHistogram())
```


Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

```
#Histogram se resetuje

recordGrossThroughputTime.setHistogram(name='GrossThroughputTime',low=0.0,high=100.0,nbins=100)

recordThroughputTime.setHistogram(name='ThroughputTime',low=0.0,high=100.0,nbins=100)
recordLateness.setHistogram(name='Lateness',low=-50.0,high=50.0,nbins=100)

#Prikazuju se osnovni rezultati simulacije
print 'Broj iteracije:',int(now()/(Gvar.WarmUpPeriod+Gvar.RunTime))
print 'Rezultati za ovu iteraciju:'
print 'Ukupno protocno vreme - ', recordGrossThroughputTime.mean()
print 'Proizvodno protocno vreme - ', recordThroughputTime.mean()
print 'Stepen koriscenja kapaciteta za iteraciju - %3.2f procenata'
%((Gvar.CalculateUtiliz*100/6)/now())

#Na kraju simulacije se cuvaju rezultati eksperimenta

ReturnValueAux1 = []
ReturnValueAux2 = []
ReturnValueAux3 = []

ReturnValueAux1.append(GrossThroughputTime_mean)
ReturnValueAux1.append(ThroughputTime_mean)
ReturnValueAux1.append(Lateness_mean)
ReturnValueAux1.append(PercentageTardy)
ReturnValueAux1.append(MeanTardiness)
ReturnValueAux1.append(GTT_RL1)
ReturnValueAux1.append(GTT_RL2)
ReturnValueAux1.append(GTT_RL3)
ReturnValueAux1.append(GTT_RL4)
ReturnValueAux1.append(GTT_RL5)
ReturnValueAux1.append(GTT_RL6)
ReturnValueAux1.append(TT_RL1)
ReturnValueAux1.append(TT_RL2)
ReturnValueAux1.append(TT_RL3)
ReturnValueAux1.append(TT_RL4)
ReturnValueAux1.append(TT_RL5)
ReturnValueAux1.append(TT_RL6)
ReturnValueAux1.append(T_RL1)
ReturnValueAux1.append(T_RL2)
ReturnValueAux1.append(T_RL3)
ReturnValueAux1.append(T_RL4)
ReturnValueAux1.append(T_RL5)
ReturnValueAux1.append(T_RL6)
ReturnValueAux1.append(PT_RL1)
ReturnValueAux1.append(PT_RL2)
ReturnValueAux1.append(PT_RL3)
ReturnValueAux1.append(PT_RL4)
ReturnValueAux1.append(PT_RL5)
ReturnValueAux1.append(PT_RL6)
ReturnValueAux2.append(GrossThroughputTime_var)
ReturnValueAux2.append(ThroughputTime_var)
ReturnValueAux2.append(Lateness_var)

for i in range(1, len(HistogrammGrossThroughputTime)):
    for j in range(len(HistogrammGrossThroughputTime[i])):
        HistogrammGrossThroughputTime[0][j][1]+=
HistogrammGrossThroughputTime[i][j][1]
    for i in range(1, len(HistogrammThroughputTime)):
        for j in range(len(HistogrammThroughputTime[i])):
            HistogrammThroughputTime[0][j][1]+= HistogrammThroughputTime[i][j][1]
    for i in range(1, len(HistogrammLateness)):
        for j in range(len(HistogrammLateness[i])):
            HistogrammLateness[0][j][1]+= HistogrammLateness[i][j][1]

ReturnValueAux3.append(HistogrammGrossThroughputTime[0])
ReturnValueAux3.append(HistogrammThroughputTime[0])
ReturnValueAux3.append(HistogrammLateness[0])

Gvar.ReturnValue.append(ReturnValueAux1)
Gvar.ReturnValue.append(ReturnValueAux2)
Gvar.ReturnValue.append(ReturnValueAux3)

#-----

#Kreira dogadjaj koji pokrece aktivnosti
released = SimEvent('Release')
WLTrigger = SimEvent('WLTrigger')
```

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

```
#Kreira i evidentira objekte koji se koriste za prikupljanje podataka
recordGrossThroughputTime = Tally('GrossThroughputTime')
recordThroughputTime = Tally('ThroughputTime')
recordLateness = Tally('Lateness')
recordMeanTardiness = Tally('MeanTardiness')

#Simulacioni model
def simulationModel():
    GVar.ReturnValue = []

    initialize()
    seed(999999)

    #Kreira resurse u radionici
    for WC in ['WC1','WC2','WC3','WC4','WC5','WC6']:
        resource = Resource(capacity=1,name=WC,qType=PriorityQ)
        GVar.ShopFloor[WC]=resource

    #Kreira nove poslove
    c=Source(name='Source')
    activate(c,c.generateRandomArrivalExp(GVar.meanTBA))

    #Definise i aktivira kontrolu pustanja poslova
    rc=ReleaseControl(name='ReleaseControl')
    activate(rc,rc.LUMSCOR_PeriodicPart())
    LUMSCOR_ContinuousTrigger=ReleaseControl(name='LUMSCORTrigger')

    activate(LUMSCOR_ContinuousTrigger,LUMSCOR_ContinuousTrigger.LUMSCOR_ContinuousTrigger()
    )

    #Aktivira prikupljanje podataka
    RCollection = ResultsCollection()
    activate(RCollection,RCollection.collect())

    #Startuje simulaciju
    simulate(until=(GVar.WarmUpPeriod+GVar.RunTime)*GVar.NumberOfRuns)

    return GVar.ReturnValue
#-----

#Kontrola simulacije

#Pokreće simulaciju i prikuplja rezultate
results = simulationModel()

#Cuva rezultate
File = shelve.open('results')
File['SingleResults'] = results[0]
File['Variance'] = results[1]
File['Distribution'] = results[2]
File.close()

print 'Kraj simulacije'
```

Prilog 1b: Kod za prikupljanje i evaluaciju rezultata simulacije

```
import shelve
import xlwt
from math import sqrt

class GVar():
    MeanResults = True
    SingleResults = True
    Distribution = True

#-----

#Preuzima rezultate
FilesToOpen = [] #Definise fajlove koji ce biti otvarani

FilesToOpen.append('results')
FilesToOpen.append('results')

#Preuzima rezultate iz navedenih fajlova
```

Model implementacije lin pristupa za unapređenje operativnih performansi nerepetitivnih proizvodnih sistema

```
SingleResults = []
Variance = []
Distribution = []

for FileName in FilesToOpen:
    File = shelve.open(FileName)
    SingleResults.append(File['SingleResults'])
    Variance.append(File['Variance'])
    Distribution.append(File['Distribution'])
    File.close()

if GVar.MeanResults:
    #kreira radnu knjigu u excel-u
    wb = xlwt.Workbook()
    ws = wb.add_sheet('MeanResults')
    #Izvozi podatke

    SimFile=0
    for SimulationFile in SingleResults:

        mean = 0
        for result in SimulationFile[0]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,0, mean/len(SimulationFile[0])) #Ukupno protocno vreme

        mean = 0
        for result in SimulationFile[1]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,1, mean/len(SimulationFile[1])) #Proizvodno protocno vreme

        mean = 0
        for result in SimulationFile[2]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,2, mean/len(SimulationFile[2])) #Kasnjenje

        mean = 0
        for result in SimulationFile[3]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,3, mean/len(SimulationFile[3])) #Procenat poslova sa kasnjenjem

        mean = 0
        for result in SimulationFile[4]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,4, mean/len(SimulationFile[4])) #Srednje vreme kasnjenja

        mean = 0
        for result in SimulationFile[5]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,5, mean/len(SimulationFile[5])) #Ukupno protocno vreme za BF1
        mean = 0
        for result in SimulationFile[6]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,6, mean/len(SimulationFile[6])) #Ukupno protocno vreme za BF2
        mean = 0
        for result in SimulationFile[7]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,7, mean/len(SimulationFile[7])) #Ukupno protocno vreme za BF3
        mean = 0
        for result in SimulationFile[8]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,8, mean/len(SimulationFile[8])) #Ukupno protocno vreme za BF4
        mean = 0
        for result in SimulationFile[9]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,9, mean/len(SimulationFile[9])) #Ukupno protocno vreme za BF5
        mean = 0
        for result in SimulationFile[10]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,10, mean/len(SimulationFile[10])) #Ukupno protocno vreme za BF6

        mean = 0
        for result in SimulationFile[11]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,11, mean/len(SimulationFile[11])) #Proizvodno protocno vreme za
BF1
        mean = 0
        for result in SimulationFile[12]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,12, mean/len(SimulationFile[12])) #Proizvodno protocno vreme za
BF2
        mean = 0
        for result in SimulationFile[13]:
```

```
        mean += result
        ws.write(SimFile,13, mean/len(SimulationFile[13])) #Proizvodno protocno vreme za
BF3
        mean = 0
        for result in SimulationFile[14]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,14, mean/len(SimulationFile[14])) #Proizvodno protocno vreme za
BF4
        mean = 0
        for result in SimulationFile[15]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,15, mean/len(SimulationFile[15])) #Proizvodno protocno vreme za
BF5
        mean = 0
        for result in SimulationFile[16]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,16, mean/len(SimulationFile[16])) #Proizvodno protocno vreme za
BF6

        mean = 0
        for result in SimulationFile[17]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,17, mean/len(SimulationFile[17])) #Srednje vreme kasnjenja za
BF1
        mean = 0
        for result in SimulationFile[18]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,18, mean/len(SimulationFile[18])) #Srednje vreme kasnjenja za
BF2
        mean = 0
        for result in SimulationFile[19]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,19, mean/len(SimulationFile[19])) #Srednje vreme kasnjenja za
BF3
        mean = 0
        for result in SimulationFile[20]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,20, mean/len(SimulationFile[20])) #Srednje vreme kasnjenja za
BF4
        mean = 0
        for result in SimulationFile[21]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,21, mean/len(SimulationFile[21])) #Srednje vreme kasnjenja za
BF5
        mean = 0
        for result in SimulationFile[22]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,22, mean/len(SimulationFile[22])) #Srednje vreme kasnjenja za
BF6

        mean = 0
        for result in SimulationFile[23]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,23, mean/len(SimulationFile[23])) #Procenat poslova sa
kasnjenjem za BF1
        mean = 0
        for result in SimulationFile[24]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,24, mean/len(SimulationFile[24])) #Procenat poslova sa
kasnjenjem za BF2
        mean = 0
        for result in SimulationFile[25]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,25, mean/len(SimulationFile[25])) #Procenat poslova sa
kasnjenjem za BF3
        mean = 0
        for result in SimulationFile[26]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,26, mean/len(SimulationFile[26])) #Procenat poslova sa
kasnjenjem za BF4
        mean = 0
        for result in SimulationFile[27]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,27, mean/len(SimulationFile[27])) #Procenat poslova sa
kasnjenjem za BF5
        mean = 0
        for result in SimulationFile[28]:
            mean += result
        ws.write(SimFile,28, mean/len(SimulationFile[28])) #Procenat poslova sa
kasnjenjem za BF6
        SimFile+=1

    SimFile=0
```

```
for SimulationFile in Variance:
    mean = 0
    for result in SimulationFile[0]:
        mean += result
    ws.write(SimFile,29, mean/len(SimulationFile[0])) #Varijansa ukupnog protocnog
vremena

    mean = 0
    for result in SimulationFile[1]:
        mean += result
    ws.write(SimFile,30, mean/len(SimulationFile[1])) #Varijansa proizvodnog
protocnog vremena

    mean = 0
    for result in SimulationFile[2]:
        mean += result
    ws.write(SimFile,31, mean/len(SimulationFile[2])) #Varijansa kasnjenja

    SimFile+=1

wb.save('MeanResults.xls')

if Gvar.SingleResults:
    #kreira radnu knjigu u excel-u
    wb = xlwt.Workbook()
    ws = wb.add_sheet('SingleResults')
    #Izvozi podatke

    SimFile=0
    for SimulationFile in SingleResults:
        for j in range(len(SimulationFile[1])):
            ws.write(SimFile*100+j,5, SimulationFile[1][j]) #Proizvodno protocno vreme
            SimFile+=1

    SimFile=0
    for SimulationFile in SingleResults:
        for j in range(len(SimulationFile[1])):
            ws.write(SimFile*100+j,6, SimulationFile[0][j]) #Ukupno protocno vreme
            SimFile+=1

    SimFile=0
    for SimulationFile in SingleResults:
        for j in range(len(SimulationFile[1])):
            ws.write(SimFile*100+j,7, SimulationFile[3][j]) #Procenat poslova sa
kasnjenjem
            SimFile+=1

    SimFile=0
    for SimulationFile in SingleResults:
        for j in range(len(SimulationFile[1])):
            ws.write(SimFile*100+j,8, SimulationFile[4][j]) #Srednje vreme kasnjenja
            SimFile+=1

    SimFile=0
    for SimulationFile in Variance:
        for j in range(len(SimulationFile[1])):
            ws.write(SimFile*100+j,9, SimulationFile[2][j]) #Varijansa kasnjenja
            SimFile+=1

    wb.save('SingleResults.xls')

if Gvar.Distribution:
    #kreira radnu knjigu u excel-u
    wb = xlwt.Workbook()
    ws = wb.add_sheet('distribution')
    #Izvozi podatke

    i = 0
    for SimulationFile in Distribution:
        i +=2
        for k in range(len(SimulationFile[2])):
            ws.write(i,k, SimulationFile[2][k][0]) # skala kasnjenja
            ws.write(i+1,k, SimulationFile[2][k][1]) # Distribucija kasnjenja

    wb.save('Histogram.xls')
```

Biografija

Ivan Tomašević je rođen 19. marta 1979. godine u Beogradu. Završio je srednju elektrotehničku školu „Nikola Tesla“ godine. Na Fakultetu organizacionih nauka je diplomirao 2005. godine na smeru za Industrijsko inženjerstvo sa prosečnom ocenom 8,50 (maks. 10), i ocenom 10 na diplomskom ispitu. Diplomске akademske studije je završio 2008. godine, gde je položio sve ispite sa prosečnom ocenom 9,57, i odbranio master rad na temu „Modeliranje poslovnih procesa – Pristupi i problemi“ sa ocenom 10. Školske 2008/2009 godine upisao je doktorske studije na Fakultetu organizacionih nauka, studijski program Menadžment, gde je položio sve ispite predviđene planom i programom sa prosečnom ocenom 10.

Od školske 2006/2007 godine je, prvo kao saradnik u nastavi a zatim i kao asistent, angažovan na Katedri za industrijsko i menadžment inženjerstvo, gde učestvuje na izvođenju vežbi na predmetima na osnovnim i diplomskim akademskim studijama. Radio je kao predavač na programu prekvalifikacije viška vojnog kadra PRISMA – *Program for Resettlement In Serbia and Montenegro Army*. Prilikom evaluacije od strane studenata, njegov pedagoški rad je redovno ocenjivan visokom ocenom. Na osnovu rezultata evaluacije bio je među 10 nagrađenih nastavnika i saradnika koji su nastavu izvodili u drugom (letnjem) semestru školske 2008/2009 godine.

Autor je ili koautor pet radova koji su objavljeni u časopisima međunarodnog značaja, jednog rada koji je objavljen u časopisu nacionalnog značaja, petnaest radova objavljenih u zbornicima međunarodnih skupova i šesnaest radova objavljenih u zbornicima skupova nacionalnog značaja. Koautor je jednog udžbenika koji se koristi u nastavi na Fakultetu organizacionih nauka. Kao član tima je učestvovao u realizaciji devet naučno-istraživačkih i komercijalnih projekata.

U nekoliko navrata je bio član organizacionog odbora jedne domaće konferencije (Skup Privrednika i Naučnika - SPIN) i dve međunarodne konferencije (SymOrg 2014 i LeanTech 2013). Bio je recenzent radova za istaknuti međunarodni časopis *International Journal of Operations & Production Management*.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Иван Томашевић

број индекса 32/2008

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Модел имплементације лин приступа за унапређење оперативних перформанси

нерепетитивних производних система

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске
верзије докторског рада**

Име и презиме аутора Иван Томашевић

Број индекса 32/2008

Студијски програм Менаџмент

Наслов рада Модел имплементације лин приступа за унапређење оперативних
перформанси нерепетитивних производних система

Ментор Проф. др Драгослав Словић

Потписани/а Иван Томашевић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, _____

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Модел имплементације лин приступа за унапређење оперативних перформанси
нерепетитивних производних система

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, _____

1. Ауторство - Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.