



PRIMENA I ZNAČAJ DOE U SISEMU ŠEST SIGMA

APPLICATION AND IMPORTANCE OF DOE IN SYSTEM OF SIX SIGMA

dr Zorica A. Veljković, dr Novica Pavlović, dr Branko Popović

Rezime: Sistem Šest Sigma je, pored TQM-a (Total Quality Management) i ISO 9000, jedan od osnovnih pristupa kvalitetu koji se danas primenjuju u svetu. Osnovni princip donošenja odluka u sistemu šest sigma je donošenje odluka na osnovu podataka. To za sobom povlači primenu velikog broja statističkih metoda. Jedna od osnovnih statističkih metoda koje se primenjuju su faktorijelni planovi čiji je primer prikazan u ovom radu.

Gljučne reči: Sistem Šest Sigma, DOE, Potpuni faktorijelni planovi, Delimični faktorijelni planovi

Abstract: Apart of TQM and ISO 9000 standards Ssystem Six Sigma is one of the basic quality movements today. Basic principle for Six Sigma System is data driven decision-making. That includes wide application of various statistical methods. One of the basic statistical methods is DOE. This paper presents examples of application full and fractional factorial designs

Key words: System Six Sigma, DOE, Full Factorial Design, Fractional Factorial Design

1. UVOD

Sistem Šest Sigma je, pored TQM-a (Total Quality Management) i ISO 9000, jedan od osnovnih pristupa kvalitetu koji se danas primenjuju u svetu [1] (Kemp, 2006). Kao najnoviji pristup (od sredine 1990-tih) Sistem Šest Sigma obuhvata metode iz TQM-a i metode vezane za ISO 9000. Pored toga obuhvata i ogroman broj metoda koje nisu obuhvaćene sa ova dva sistema. Standardizacija metoda koje se primenjuju u sistemu još uvek nije urađena, s obzirom da se sistem i dalje razvija.

Osnovni princip na kome se zasniva Sistem Šest sigma je donošenje odluka na osnovu podataka dobijenih merenjem. S obzirom na stohastičku prirodu podataka, u SŠS se primenjuje veliki broj statističkih metoda.

U ovom radu prikazana je primena faktorijelnih i delimičnih faktorijelnih eksperimenata, kao sastavnih delova Sistema šest sigma

2. OSNOVNO O SISTEMU ŠEST SIGMA

Osnovni cilj sistema je poboljšanje kvaliteta procesa i proizvoda uz smanjenje troškova proizvodnje. Sastoji se iz pet osnovnih faza poznatih kao DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) odnosno od Definisanja problema, Merenja

veličina koje definišu probleme, Analize izmerenih veličina. Poboljšanja na osnovu analize i Kontrole sprovedenih poboljšanja. Novine koje uvodi SŠS su da se uvodi preko projekata i parcijalno u okviru organizacije. Obuhvata sve nivoe zaposlenih od nivoa menadžmenta do nivoa radnika [2] (Pyzdek, 2003). Uvodi principe funkcionisanja proizvodnih (industrijskih) preduzeća u ostale vrste preduzeća kao što su banke, pošte, zdravstvene institucije isl.

Donošenje odluka na osnovu podataka podrazumeva primenu velikog broja statističkih metoda, među kojima su jedne od osnovnih faktorijelni (potpuni i delimični) planovi eksperimenata [2] (Pyzdek, 2003).

Jedna od statističkih metoda, koja se smatra ključnom za poboljšanja koja donosi primena SŠS je DOE (Design Of Experiments) ili statističko planiranje eksperimenata. Treba napomenuti da neki autori [3] (Wilson, 2005) umesto DOE koriste Taguchi-jeve metode. S obzirom da je dokazano da su po svojoj osnovnoj strukturi Taguchi-jeve metode u delu statistički planiranih eksperimenata odgovaraju tradicionalnim DOE metodama [4] (Veljković, 2005), ovaj rad se bavi klasičnim faktorijelnim i delimičnim faktorijelnim eksperimentima.

DOE se smatra jednim od osnovnih statističkih metoda za primenu u SŠS. Koristi se u fazama Analize - za utvrđivanje izvora varijacije i faktora koji utiču na proces i

Poboljšanja - za utvrđivanje uticajnih faktora koji najviše utiču na poboljšanje i veličinu poboljšanja proizvoda i procesa [2], [5](Pyzdek, 2003, Keller, 2005).

S obzirom na složenost metoda, najčešće je primenjuju visoko obrazovani kadrovi, odnosno zaposleni koji u SŠS imaju funkciju najmanje "Crnih pojaseva" [2](Pyzdek, 2003).

3. OSNOVNO O FAKTORIJELNIM PLANOVIMA EKSPERIMENATA

Faktorijelni eksperimenti su viši nivo analize varijanse i njihova analiza se zasniva na njoj. Služe za istovremeno ispitivanje više faktora. Dele se prema nivou koji faktori imaju pri sprovođenju eksperimenata na 2^k , 3^k , 4^k itd. eksperimente, gde 2, 3, 4... predstavljaju broj nivoa faktora u eksperimentu, dok k predstavlja broj faktora koji se ispituju. U industrijskim ispitivanjima najčešće se koriste planovi sa 2 nivoa, zbog lakoće primene, mogućnosti matričnog prikazivanja eksperimenta, malog broja merenja i velikog broja informacija koje se na osnovu njih mogu dobiti.

Faktorijelni planovi se dele na potpune i delimične. Potpuni faktorijelni planovi ispituju faktore i sve njihove interakcije. Problem kod potpunih faktorijelnih planova je u tome da u praksi interakcije velikog broja faktora najčešće nemaju statistički značajnog uticaja, što može dovesti do sprovođenja velikih eksperimenata koji ne daju mali broj korisnih podataka. Stoga se češće u praksi, naročito u početnim fazama ispitivanja koriste delimični faktorijelni eksperimenti.

Delimični faktorijelni eksperimenti nastaju od potpunih kada se na mesta velikih interakcija dodaju novi faktori. Time se gubi deo informacija, ali se dobija veći broj informacija o glavnim efektima faktora i najčešće dvofaktorskim interakcijama. Delimični faktorijelni eksperimenti sa sobom vuku strukturu alijasa, odnosno preklapanje efekata faktora, o čemu se mora voditi računa pri donošenju zaključaka i potrebi za eventualnim dodatnim ispitivanjima.

Pri sprovođenju eksperimenata u okviru svakog nivoa svakog od faktora sprovodi se određeni broj replikacija. Broj replikacija mora biti isti i one moraju biti sprovedene nezavisno i slučajno.

4. PRIMER POTPUNIH FAKTORIJELNIH PLANOVA

Montgomery, Runger (2003) [6] daju primer u kome se ispituje uticaj brzine rezanja (faktor A),

dubina rezanja (faktor B) i ugla rezanja (faktor C) na vreme trajanja alata u satima (y). Za svaki faktor su izabrana po dva nivoa, tako da su izabrane brzine rezanja 51 i 76 cm/min, izabrane dubine rezanja 0.635 i 1.015 mm i izabrani uglovi rezanja 15 i 25°. Odlučeno je da se za svaki nivo svakog od glavnih faktora na slučajni način sprovedu po dva nezavisna merenja. To znači da je u pitanju 2^3 potpuni faktorijelni eksperiment sa dve replikacije. Pregled eksperimentalnog plana i izmereni podaci prikazani su u Tabeli 1.

komb.	A	B	AB	C	AC	BC	ABC	R I	R II	Σ
1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	-1	221	311	532
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	325	435	760
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	354	348	702
4	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	552	472	1024
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	440	453	893
6	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	406	377	783
7	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	605	500	1105
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	392	419	811
										Σ 6610

Tabela 1. - Pregled postavljenog potpunog faktorijelnog eksperimentalnog plana sa dobijenim rezultatima

Za eksperiment je korišćena ortogonalna matrica 8×7 , u koju je moguće postaviti faktore i sve njihove efekte. Kada se uzme u obzir i broj replikacija, eksperiment se sastoji od ukupno 16 merenja.

Analiza eksperimentalnih rezultata sprovodi se odgovarajućim tehnikama analize varijanse za 2^k planove. Rezultati analize podataka prikazani su u Tabeli 2.

efekat	SK	f	V	F_0	p
A	1332.25	1	1332.25	0.5410	0.483
B	28392.25	1	28392.25	11.529*	0.009*
C	20592.25	1	20592.25	8.3623*	0.02*
AB	506.25	1	506.25	0.2055	0.662
AC	56882.25	1	56882.25	23.099*	0.001*
BC	2352.25	1	2352.25	0.955	0.357
ABC	4830.25	1	4830.25	1.961	0.199
e	19700	8	2462.5		
T	134587.8	15			

Tabela 2. - Konačna ANOVA tabela za potpuni faktorijelni plan

Ovde su SK, odgovarajuće sume kvadrata, f - broj stepeni slobode, V - ocena varijanse, F_0

vrednost F testa, p - p nivo ili p vrednost testa¹. A, B, C, su glavni efekti ispitivanih faktora, dok su AB, AC, BC dvofaktorske interakcije, a ABC je trofaktorska interakcija, e je slučajna greška koja se dobija na osnovu replikacija, dok se T odnosi na total, odnosno uticaj svih merenja.

Analiza eksperimentalnih rezultata ukazuje na to da uticaja imaju faktor B - dubina rezanja, faktor C - ugao rezanja i interakcija AC - međusobno dejstvo brzine rezanja i ugla noža.

5. PRIMER DELIMIČNIH FAKTORIJELNIH PLANOVA

Na osnovu rezultata eksperimeta koje su dobili Montgomery i Runger (2003), kao i na osnovu inženjerskih iskustava, sprovedena je monte carlo simulacija urađena u programu C+, u kojoj je uveden dodatni faktor brzina dotoka sredstva za hlađenje i podmazivanje SHP (faktor D), sa nivoima 0.5l/min i 1l/min. Faktor je postavljen na mesto trofaktorske interakcije, čime je dobijen delimični faktorijelni plan prikazan u Tabeli 3.

komb.	A	B	C	D	repl I	repl II
1	51	0.635	15	0.5	100	60
2	76	0.635	15	1.0	200	210
3	51	1.015	15	1.0	110	90
4	76	1.015	15	0.5	111	162
5	51	0.635	25	1.0	122	94
6	76	0.635	25	0.5	113	120
7	51	1.015	25	0.5	112	97
8	76	1.015	25	1.0	260	180

Tabela 3. - Postavka i eksperimentalni rezultati delimičnog faktorijelnog plana

Postavkom eksperimentalnog plana se vidi da se sa 16 merenja dobija više informacija o faktorima. Da je sproveden potpuni faktorijelni eksperiment pod istim uslovima, sa po dve replikacije bilo bi potrebno ukupno 32 merenja.

Sprovođenjem delimičnog faktorijelnog eksperimenta dolazi do stvaranja strukture alijasa koja je prikazana u Tabeli 4.

A	B	AB	C	AC	BC	D
BCD	ACD	CD	ABD	BD	AD	ABC

Tabela 4.- Struktura alijasa za delimični faktorijelni plan

Na osnovu tabele 4 se vidi da se glavni efekti faktora poklapaju sa trofaktorskim interakcijama, dok se dvofaktorske interakcije međusobno poklapaju. To znači da je u pitanju plan 2_{IV}^{4-1} , gde IV označava rezoluciju plana, dok 4-1 označava da plan ima 4 faktora koji su postavljeni u 2^3 potpuni eksperimentalni plan.

U ovom slučaju odgovarajući generator je $D = ABC \Rightarrow I = ABCD$

Ekperimentalni rezultati analize podataka prikazani su u Tabeli 5.

	SK	f	V	F0	p
A	20377.56	1	20377.56	26.81479	0.001**
B	663.0625	1	663.0625	0.872522	0.378
C	189.0625	1	189.0625	0.248787	0.631
D	9555.063	1	9555.063	12.57348	0.008**
AB	85.5625	1	85.5625	0.112591	0.746
AC	351.5625	1	351.5625	0.46262	0.516
BC	5513.063	1	5513.063	7.254626	0.027*
e	6079.5	8	759.9375		
T	42814.44	15			

Tabela 5. - Rezultati delimičnog faktorijelnog plana

Za razliku od potpunog faktorijelnog plana rezultati pokazuju da u ovom slučaju statistički značajnog uticaja imaju brzina rezanja (A), brzina dotoka SHP, kao i interakcija BC, odnosno AD. Pošto u ovom slučaju eksperimentalni rezultati ne pokazuju uticaj dubine rezanja (B) i ugla noža (C), može se pretpostaviti da je u ovom slučaju stvarni uticaj interakcije AD, odnosno uticaja brzine dotoka SHP na brzinu rezanja.

Takođe rezultati mogu da ukažu na to da uvođenjem faktora SHP, glavni uticaj na dužinu trajanja alata se sa dubine rezanja i ugla rezanja prebacuje na brzinu rezanja i brzinu SHP, što bi stvarnim eksperimentom trebalo i dokazati.

Osnovni problemi koje treba razmatrati prilikom sprovođenja faktorijelnih eksperimenata je pravilan izbor faktora, pravilan izbor nivoa faktora, kao i sprovođenje eksperimenata u odgovarajućim uslovima.

6. ZAKLJUČCI

Nedovoljna industrijska i inženjerska primena statistike u praksi je jedan od osnovnih problema koji se javlja u industrijskim istraživanjima, sa aspekta poboljšanja kvaliteta proizvodnje i samih proizvoda. Rad je pokušaj da se prikažu savremene metode kvaliteta u okviru najsavremenijih svetskih trendova kao što je Sistem Šest Sigma.

¹ Pošto p nivo testa može da se dobije samo preko računara, osim u slučaju standardizovane normalne raspodele za određivanje njegovih vrednosti korišćeni su resursi sa interneta [7]

U okviru toga težište rada je bačeno na jednu od najefikasnijih metoda za unapređenje proizvodnih procesa - Statističko planiranje eksperimenata, odnosno DOE. Kroz prikazane primere date su mogućnosti faktorijskih planova i prikazani problemi koji mogu da nastanu njihovom primenom. Stoga bi inženjeri trebalo da dublje prouče ovu tematiku, koja se široko primenjuje u svetu.

LITERATURA

- [1] Kemp, S (2006) *Quality Management Demystified*, McGraw Hill, NY
- [2] Pyzdek, T (2003) *The Six Sigma Handbook - Complete Guide to Green Belts, Black Belts and Managers at All LevelsI*, McGraw Hill, NY
- [3] Wilson, G (2005) *Six Sigma Product Development Cycle*, Elsevier
- [4] Veljković, Z. (2005) *Istraživanje transformacija Taguchi-evih ortogonalnih matrica za primenu u klasičnim faktorijskim planovima*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
- [5] Keller P (2005) *Six Sigma Demystified*, McGraw-Hill, NY
- [6] Montgomery, DC, Runger, GC (2003) *Applied Statistics and Probability for Engineers*, John Wiley&Sons, NY
- [7] <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/Business-stat/otherapplets/pvalues.htm>