

Mirjana Landika¹

**SENZITIVNOST SISTEMA KVALITETA NA
KOMBINACIJE FAKTORA I KONTROLISANE VARIJACIJE
NIVOVA U TOKU PROCESA**

**QUALITY SYSTEM SENSITIVITY TO THE COMBINATION
OF FACTORS AND CONTROLLED LEVEL VARIATIONS
DURING THE PROCESS**

Abstract

Selection of the factors and the empirical correlation of distribution of their modalities can be often used for understanding the consequences of combinations of these factors and the controlled variation of their levels. Conducting experiment by measurement of individual factors or their manifestations is very well explained by the term „Design of Experiment“ which is statistical tool designed to improve the quality of the process, i.e. for sensitivity testing of output to input specifications.

Design of Experiment is a complex statistical tool and it is used in situations with more variable that can be have individually or joint effects.

Design of Experiment suggests solutions based on mentioned assumptions so it represents a way to identify all possible factors and their controlled variations with reactions which can give some contribution during the performance of observations of the measurement sensitivity. Balanced experiment ensures equality of observations and equal opportunities principle in the distribution of occurrence probability of certain variants of distribution of the observed characteristics values. In an orthogonal experiment, the consequences of different factors can be broken down to identify their causes i.e. effects of decomposition.

Keywords: experiment, variable, resources, effects, variations, observations, statistical tool.

Sažetak

Selekcija faktora i empirijska povezanost rasporeda njihovih modaliteta često može da posluži za razumjevanje posljedica kombinatorike tih faktora kao i za kontrolisane varijacije njihovih nivoa. Eksperimentisanje mjerenjem pojedinih faktora ili njihovih manifestacija u ovom radu je objašnjeno pojmom Dizajn eksperimenta koji predstavlja statistički alat namjenjen za unapređivanje kvaliteta procesa, odnosno za ispitivanje osjetljivosti izlaza na specifikacije ulaza.

Dizajn eksperiment je kompleksan alat statističke prirode a koristi se u situacijama sa više promjenjivih koje mogu imati pojedinačno ili združeno

¹ Dr sc. Mirjana Landika, Panevropski univerzitet Apeiron, Banja Luka

dijelovanje. Dizajn eksperiment predlaže rješenja zasnovana na navedenim pretpostavkama tako da predstavlja način identifikacije svih mogućih faktora i njihovih kontrolisanih varijacija sa reakcijama koje mogu dati izvjesan doprinos prilikom izvođenja opservacija u pogledu mjerenja senzitivnosti. Izbalansirani eksperiment osigurava ravnopravnost opažanja odnosno princip jednakih šansi u distribuciji vjerovatnoće pojavljivanja pojedinih varijanti rasporeda vrijednosti posmatranih obilježja. U jednom ortogonalnom eksperimentu posljedice različitih faktora mogu se razložiti u cilju identifikacije njihovih uzroka odnosno dekompozicije uticaja.

Ključne riječi: *eksperiment, promjenjiva, resursi, efekti, varijacija, opservacija, statistički alat.*

UVOD

Eksperimentisanje uz uključivanje jedne ili proširivanje na više promjenjivih počelo je još u vrijeme Frensis Bejkona a moderni statistički eksperimenti opravdano se vežu za ime i radove R.A. Fišera u prvoj polovini 20 vjeka kada ih je ovaj teoretičar upotrebio za istraživanja u poljoprivredi. Rezultati ovih eksperimenata doveli su do otkrivanja i predlaganja čitave palete novih metoda eksperimetisanja a u ovom radu će biti opisan samo osnovni koncept Dizajn eksperimenta. U praksi je našao svoju primjenu u situacijama kada više ne postoje na raspolaganju vremenski i finansijski resursi da bi se dalje ispitivali potencijalni efekti mogućih kombinacija promjenljivih.

Navedeni alat se uglavnom koristi u situacijama kada promjenjivi faktori mogu međudejstvovati stvarajući određene implikacije u pogledu iznalaženja optimalnih odnosa faktora u skladu sa rezultatima koji se mogu ocijeniti i pomovisati kao nova i popularna rješenja.

Prilikom provođenja Dizajn eksperimenta mjerljivi su i promjenljivi i faktori i njihovi nivoi kao komponente uticaja na rezultate eksperimenta. U svakom eksperimentu mora biti prisutan veći broj proba u kojima dolazi do izražaja varijabilitet fiksnog broja faktora što će biti i praktično pokazano.

Skup mogućih kombinacija faktora i njihovih upravljivih nivoa u jednom eksperimentu označva se kao puni faktorijel. Složen je u empiriskom radu zbog potrebe uključivanja većeg broja kombinacija faktora tj. logike poredka spajanja njihovih nivoa.

Značajan dio Dizajn eksperimenta se sastoji u određivanju reprezentativnih podskupova (frakcija) za probu. Da bi taj izbor kao i sam alat bio konzistentan i kompletan neophodno je poštovati pravilo ortogonalnosti i pravilo izbalansiranosti eksperimenta.

Opšti pristup alatu Dizajn eksperimenta zasniva se dakle na fluktuaciji samo jednog faktora a ostali se zadržavaju na konstantnom režimu. Ipak ignorisanje interakcije i precizno ponašanje u odnosu na ovakav pristup može dovesti do pogrešne slike jer ispušta sve efekte međudejstva.

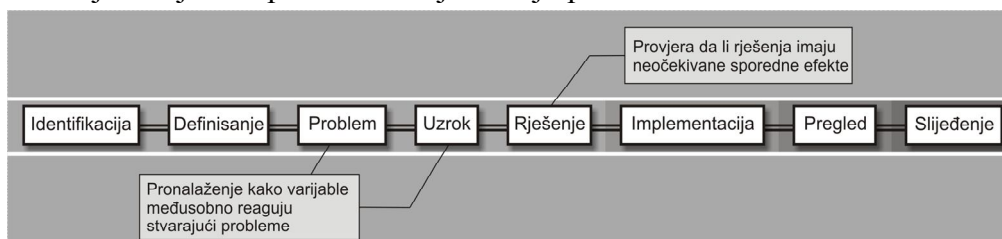
Posljedice svih faktora moraju biti mjerljive ili procjenjive što se kao problem obavezno javlja nakon završetka eksperimenta. Efikasno rješenje u okviru statističkog pristupa je izrada grafičke interpretacije vrijednosti za svaki faktor i svaki nivo kako pojedinačno tako i u kombinacijama.

2. Dizajn eksperimenta (DoE) (eng. Design of Experiments)

Eksperimentisanje uz mijenjanje jednog faktora je počelo još od vremena Frensisu Bejkona u njegovom *experimentum crucis*. Moderni statistički eksperimenti počeli su od R.A. Fišera, kada ih je on upotrijebio u poljoprivrednim istraživanjima. Od tada je bilo predloženo mnogo novih metoda, a Geniči Tagučiji je dao najznačajnije doprinose u ovoj oblasti u novije vrijeme.

Dizajn eksperimenta se koristi pri istraživanju neke situacije u kojoj postoji mnogo promjenljivih faktora čije međudejstvo prouzrokuje određene probleme. Dizajn eksperimenta je našao primjenu u situacijama kada više nema vremena ili novca da bi se isprobale sve moguće kombinacije promjenljivih.

Sl.1: Korištenje dizajna eksperimenta u rješavanju problema



U mnogim problematičnim situacijama, često se pravi greška kada se pretpostavi da je najočigledniji faktor jedini uzrok i da se predloži rješenje zasnovano na toj pretpostavci tako da je iznenađenje kada se ustanovi da rješenje nije tako efektivno. Npr. inženjer hortikulture može zaključiti da prihrana uzrokuje opadanje lišća kada je vrijeme toplo i odmah zaključuje da je temperatura jedini uzrok. Međutim, jedini način da se ovo sazna je da se prepoznaju svi mogući faktori koji mogu dati svoj doprinos i da se provede serija eksperimenata u kojima ovi promjenljivi faktori variraju na kontrolisan način. Tako bi inženjer hortikulture mogao otkriti da su i vlaga i svjetlost dodatni faktori koji mogu uticati na biohemijske reakcije unutar listova.

Pri provođenju eksperimenta mogu se mijenjati dvije stvari: faktori i njihovi nivoi. Faktor je mjerljiva stavka, kao što je temperatura ili vlaga, koja pri promjeni može da utiče na rezultat eksperimenta. Nivoi faktora su skup vrijednosti koje faktori mogu imati, kao što su 20 ili 30°C. U svakom eksperimentu je prisutan veći broj proba u kojima variraju nivoi fiksnog broja faktora, kao što je prikazano na Sl.2.

Sl.2: Probe i faktori

Broj promjenljivih faktora je fiksian

Broj probe	Temperatura (°C)	Vlaga (%)	Osvjetljenje (lux)	Opadanje lišća (%)
1	20	20	10	18
2	22	30	20	32
3	24	40	30	45
4	28	50	40	48

Svaki faktor se može varirati unutar fiksnog seta nivoa

Može biti velikid broj proba

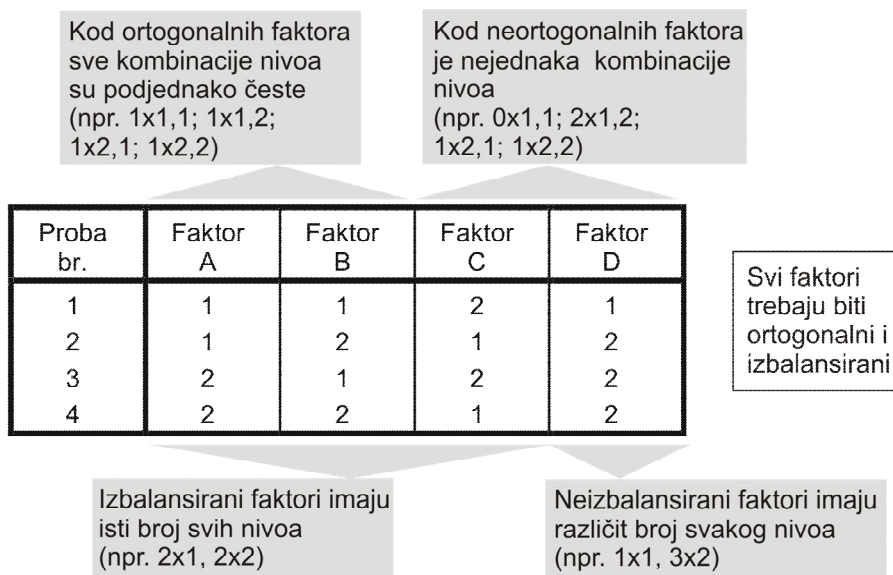
Rezultat svake probe zavisi od faktora i nivoa

Kompletan skup mogućih kombinacija nivoa i faktora u jednom eksperimentu se označava kao puni faktorijel i obično je prevelik da bi se izvela proba uz korištenje svih kombinacija. Vrlo značajan dio dizajna eksperimenta se nalazi u određivanju koji podskup punog faktorijela (frakcioni faktorijel) treba izabrati za probu. Opšti pristup se sastoji u tome da se tretira samo jedan faktor, a svi ostali faktori održavaju na konstantnim nivoima, ali to može dovesti do nepotpune slike, pošto se ignorišu interakcije među faktorima i propuštaju efekti međudejstva.

Skup proba koje čine konzistentan i kompletan eksperiment mora poštovati slijedeća dva osnovna pravila faktorijelne kombinacije ili frakcionog faktorijela:

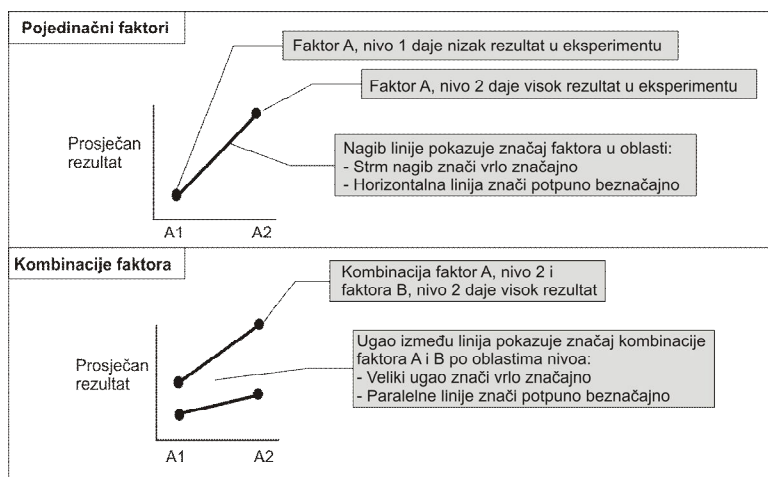
- Izbalansirani eksperiment* koji obezbjeđuje “ravnopravnost” zahtjevajući da se različiti nivoi istog faktora podjednako često pojavljuju.
- Ortogonalni eksperiment* koji posljedice različitih faktora razdvaja, tako da se identifikuju odvojeni uzroci što je prikazano na Sl.3, a posljedice svih faktora takođe trebaju biti mjerljive ili procjenjive.

Sl.3: Ortogonalnost i izbalansiranost



U praksi se mnogi eksperimenti mogu pojednostaviti korištenjem samo dva nivoa svakog faktora. To se može desiti prirodno ili se može koristiti kada samo jedna promjena u nivou pokazuje da li je faktor značajan ili nije.

Sl.4: Rezultati eksperimenta



Kada se eksperiment završi javlja se problem određivanja stvarnih posljedica svakog pojedinačnog faktora. Ovdje postoji statistički pristup, ali jednostavan i efektivan način je da se u dijagram ucrtaju vrijednosti za svaki faktor i svaki nivo, kako pojedinačno tako i u kombinacijama, kao što je prikazano na Sl.4. Najznačajniji pojedinačni faktor će imati najstrmiju liniju, mada to zavisi i od upotrebljenih nivoa. Značajne kombinacije faktora će imati linije sa velikim uglom između njih a dobar znak značajnosti je međusobno presjecanje linija.

3. Dizajn eksperiment punog faktorijela sa dijagramom posljedica međudjelovanja

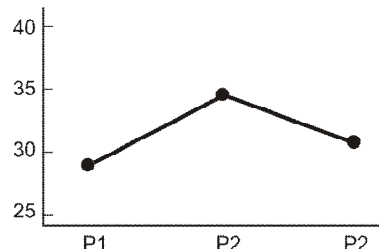
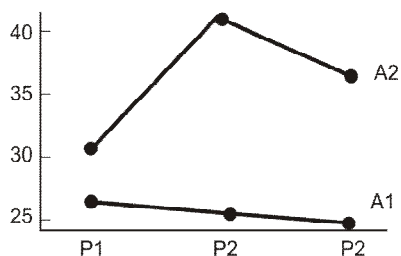
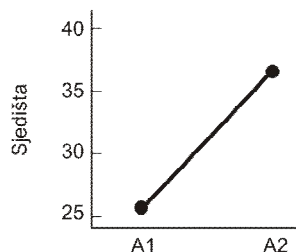
Dizajn eksperiment punog faktorijela sa dijagramom posljedica međudjelovanja veoma slikovito se može opisati kroz slijedeći primjer. Marketinška grupa jedne vazduhoplovne kompanije je željela povećati broj mjesta u poslovnoj klasi koja se prodaju na letovima van špice. Kao ključni faktori su identifikovani nivo reklamiranja i politika cijena. Oni su isprobali dvije reklamne kampanje i tri strategije cijena u geografski odvojenim, ali demografski sličnim područjima. Pošto je na raspolaganju bio mali broj mogućih proba, oni su proveli eksperiment punog faktorijela, kao što je prikazano na Sl. 5. Rezultati prikazani na dijagramu individualnih posljedica pokazuju da su rezultati reklamnih kampanji bili značajni, a da cijene imaju nelinearan efekat na prodana mjesta. Ovo je potvrđeno i na dijagramu posljedica međudjelovanja, koji pokazuje da je prvi nivo reklamiranja bio neefektivan bez obzira na cijene, dok je drugi nivo reklamiranja bio najefektivniji u sprezi sa drugom strategijom cijena.

Sl.5: Primjer eksperimenta

Proba	Reklamni nivo, A	Reklamni nivo, B	Sjedišta sa 4 slučajna leta	Ukupno
1	1	1	28, 26, 21, 32	107
2	1	2	25, 28, 21, 29	103
3	1	3	23, 26, 22, 28	99
4	2	1	29, 33, 32, 28	122
3	2	2	42, 44, 39, 45	170
4	2	3	36, 40, 39, 35	150

Prosjeci brojanja sjedišta

Individualni efekti		Parovi interaktivnih efekata	
A1	25.75	A1 x P1	26.75
A2	36.83	A1 x P2	25.75
P1	28.63	A1 x P3	24.75
P2	34.13	A2 x P1	30.50
P3	31.13	A2 x P2	42.50
		A2 x P3	37.50



Djelotvorna primjena dizajn eksperimenta u praksi veoma ilustrativno se pokazuje i na slijedećim primjerima:

- U pogonu za brizganje plastike su željeli da smanje otpad pa su proveli set eksperimenata u kome je mijenjan pritisak brizganja, temperatura smjese i vrijeme formiranja. Analiza rezultata je pokazala da je najznačajniji faktor kombinacija temperature i vremena formiranja a daljim eksperimentima je pronađen optimalni odnos ova dva faktora.
- Tim za istraživanje tržišta je dizajnirao eksperiment kako bi odredio koji će faktori najjače uticati na kupce da kupe njihov proizvod. Oni su proveli anketu koja postavlja pitanja o nekoliko nivoa cijena, pakovanja i dostave. Među neočekivane rezultate spadaju velika osjetljivost na kombinaciju cijena i dostave. U skladu sa rezultatima je uspostavljena diskontna kurirska dostava, koja se pokazala najpopularnijom.
- Tim za dizajniranje jahti namjerava da poveća brzinu jahti izmjenom oblika pramca na brodu. Oni nisu isprobavali nasumične oblike, već su identifikovali ključne parametre plovidbe i dizajnirali i proveli set eksperimenata, pri čemu je svaki faktor postavljan na dva nivoa. Nakon toga su uslijedili eksperimenti sa više nivoa za dva faktora koji su u prvom setu eksperimenata ocijenjeni kao najznačajniji. Rezultat je novo plovilo sa 5% povećanom brzinom.

4. Metodologija provođenja dizajn eksperimenta

Metodologija provođenja i postupak primjene dizajn eksperimenta sastoji se od slijedećih koraka:

- Identifikovanje cilja provođenja eksperimenta.
- Identifikovanje faktora
- Pronalaženje pravih uzroka problema.

- Shvatanje interakcije među problemima.
- Pronalaženje najboljeg rješenja za probleme.
- Testiranje rješenja.

Eksperiment će biti puno lakše provesti ako se radi o jednom mjerenju koje se može izvesti pouzdano i jasno prikazati rezultat.

Takođe treba uzeti u obzir sve faktore koji mogu uticati na rezultate mjerenja, a nakon toga izabrati one koji će se varirati i one koji će se održavati konstantnim ili će se nadgledati na drugi način.

Ako ima puno faktora skratiti listu onih koje treba varirati, tako što će se izabrati samo oni za koje se zna da utiče na posljedice i oni čije su posljedice nejasne. Isto tako može biti korisno provesti serije eksperimenata, počinjući sa manjim podskupom faktora sa visokom vjerovatnoćom uticaja na posljedice.

Za svaki izabran faktor potrebno je identifikovati skup nivoa koje eksperiment mora uzeti u obzir, a to će obično biti mali skup mogućih vrijednosti.

Tako će biti potrebno provesti manje proba, a i naknadna analiza će biti lakša ako se izabere samo vrlo mali broj nivoa svakog faktora. U mnogim slučajevima sasvim su dovoljna dva nivoa, pošto će već to pokazati da li promjena nivoa faktora mijenja rezultate eksperimenta. Za provjeru nelinearnih zavisnosti se može koristiti tri ili više nivoa.

Potrebno je izabrati nivoe koji će biti reprezentativni za oblast normalnih vrijednosti. Pri tome oni trebaju biti dovoljno odvojeni kako bi se mogle identifikovati promjene u cijelom radnom području, ali da pri tome ne zalaze u granične oblasti.

Takođe treba obezbjediti da se na tim nivoima mogu kontrolisati i mjeriti faktori. Ako se ne mogu kontrolisati, onda i samo mjerenje može biti dovoljno, te naknadno razvrstavanje u posebne oblasti.

Postoji veliki broj mogućih načina da se izvedu aktuelne probe, sve u zavisnosti od tipa eksperimenta koji se provodi.

Odluka o tome koliko će se probi vršiti može zavisiti i od ekonomskih faktora, kao što su rad i troškovi. Npr. testiranje sudara na vozilima je skupo i zahtjeva puno vremena, pa ga je nepraktično često provoditi.

Kada se odaberu probe, provjeriti da li su izbalansirane, odnosno da li se različiti nivoi svakog faktora pojavljuju isti broj puta. Treba provjeriti i ortogonalnost, tako da se provjeri da li svaki par faktora sa svim kombinacijama nivoa ima isti broj pojavljivanja kao što je prikazano na Sl.6.

Sl.6: Provođenje eksperimenta

Tačka 5: Tačka 3: Faktori Tačka 2: Definisati mjerenja
Probe Tačka 4: Nivoi Tačka 6: Vršiti mjerenja

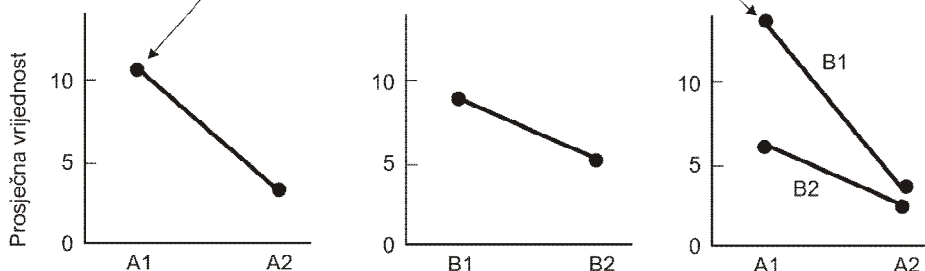
Proba	Faktor A	Faktor B	Rezultati
1	1	1	12, 13, 14
2	1	2	8, 9, 6
3	2	1	2, 3, 4
4	2	2	5, 2, 1

Faktor A na nivou 1 se javlja u probama 1 i 2, tako da je njegov prosjek $(12+13+14+8+9+6)/6=10.33$

Tačka 6: Analiza rezultata

Faktori i nivoi	Nađeno u probama	Prosjeak rezultata
A1	1, 2	10.33
A2	3, 4	3.0
B1	1, 3	8.0
B2	2, 4	5.33
A1 i B1	1	13.0
A1 i B2	2	7.67
A2 i B1	3	3.0
A2 i B2	4	2.67

Interaktivni grafovi imaju po jednu tačku za svaku kombinaciju faktora



Nacrtati po jedan grafikon za svaki pojedini faktor i svaku kombinaciju faktora

To može biti jednostavan set eksperimenata ili može zahtijevati značajnu organizaciju i fondove. U svakom slučaju treba biti oprezan kod kontrolisanja faktora na izabranim nivoima i kod mjerenja i bilježenja rezultata.

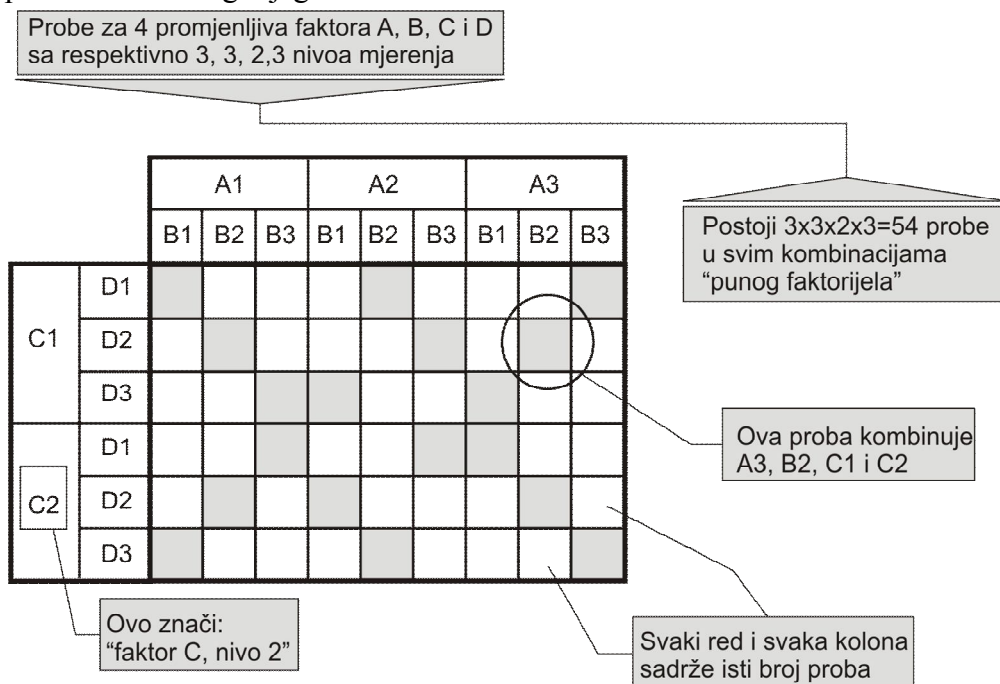
Naredne probe ne bi trebale ni na koji način da utiču jedna na drugu. Ako bi moglo doći do tako nečega, probe treba provoditi nasumičnim redom. Rezultati se mogu bilježiti u jednostavnim tabelama, kao što je prikazano na ilustracijama, u kojima je u jednom redu prikazana jedna proba, sa nivoima i rezultatima u jednom redu. Na taj način će se olakšati analiza, pošto rezultati mogu imati vizuelnu korelaciju sa izabranim nivoima faktora. Jednostavan pristup u analizi rezultata je da se izračunaju srednje vrijednosti i u dijagrame unesu rezultati za svaki faktor, nivo i kombinaciju, kao na prikazanim ilustracijama.

Ako se radi o više od dva nivoa, dobiće se linije koje imaju više od dvije tačke a ako nisu prave, onda se radi o kompleksnim posljedicama.

5. Matrični dijagram punog faktorijela - latinski kvadrat

Za izbor podseta proba iz punog faktorijela praktično je koristiti matrični dijagram, kao što je prikazano na Sl.7. Redovi i kolone se dodjeljuju faktorima i njihovim nivoima, tako da svako polje predstavlja jedinstvenu kombinaciju. Polja se zatim osjenče tako da predstavljaju aktuelne probe koje se koriste. Kontrukcijom latinskog kvadrata rezultati se mogu zabilježiti na istoj matrici a sabiraju se u odgovarajućim poljima nasuprot zaglavljima faktora i nivoa.

Sl.7: Upotreba matričnog dijagrama



Latinski kvadrat je jednostavna metoda izbora malog skupa proba u situaciji kada ima nekoliko faktora i nivoa. Kvadrat jednostavno obezbjeđuje da se svaki nivo dešava jednom za svaki faktor rotiranjem nivoa oko faktora za svaku narednu probu, kao što je prikazano na Sl.8. Ako rezultirajuća muštra ima neki uticaj na rezultat, probe se mogu izvoditi nasumičnim redom.

Latinski kvadrat ima prilično velika ograničenja, jer mora imati isti broj faktora, nivoa i proba što se može postići tako da se izaberu nivoi koji odgovaraju broju faktora.

Sl.8: Latinski kvadrat

Proba	Faktor A	Faktor B	Faktor C	Faktor D
1	1	2	3	4
2	4	1	2	3
3	3	4	1	2
4	2	3	4	1

Sukcesivne probe "rotiraju" nivoe između faktora

Isti je broj faktora, nivoa i proba (ovdje po četiri)

ZAKLJUČAK

Jedan iz kolekcije od sedam osnovnih alata kvaliteta, namjenjenih za skupljanje i analizu podataka, je i Dizajn eksperimenata. Predstavlja efikasan metod za provođenje naučno osmišljenih i stručno planiranih i pripremanih serija eksperimenata a uključujući veliki broj varijabli, fokusira se na kritične u procesu.

Dizajn eksperiment predstavlja područje primjenjene eksperimentalne statistike koje se bavi planiranjem, provođenjem, analizom i interpretacijom kontrolisanih varijacija. Strateški planiran a statistički proveden ovaj alat može obezbjediti veoma puno informacija o efektima pojedinih varijabli u odnosu na jedan ili više faktora i njihovih nivoa.

Bazična načela u kreiranju Dizajniranog eksperimenta su: blokiranje, nasumičnost i replikacija tako da dobro izveden Dizajn ekseperimenta može pribaviti odgovore na pitanja u vezi sa podešavanjem performansi procesa koji će obezbjediti manje variranje kvaliteta na izlazu. Poželjno je da se primjeni višestruko ponavljanje u postupku prikupljanja znanja pri čemu se obično misli na redefinisane dizajna radi selekcije faktora. Izučavanje svake kombinacije faktora i nivoa u pristupu zoni vrijednosti u kojoj je proces blizu optimalnog stanja - Faktorijelni dizajn je uvijek proces stvaranja novog znanja deriviranog u eksperimentalnom radu kroz empirijsku građu.

Ponavljanje kompletnog eksperimentalnog tretmana u razgrađivanju grešaka kao antivrijednosti, kada je faktor slučajnosti preskup, blokada omogućuje redukciju stohastičkog člana uz pomoć sprovođenja probe sa jednim podešavanjem faktora, a nakon toga svih probi sa drugim podešavanjem. Iskustvo stečeno na bazi opisanih teorijskih mogućnosti i provjeravano kroz demonstrirane eksperimente afirmiše svoju dokaznu vrijednost u pogledu promocije metoda obezbjeđenja kvaliteta a time i unapređivanja upravljačke funkcije.

LITERATURA

- 1) Popović, Branko: Obezbjedenje kvaliteta proizvoda (Quality assurance), Nauka, Beograd, 1992.
- 2) Todorović, Zdravko i drugi: Kvalitet prema standardima serije ISO 9000, Ministarstvo industrije i energetike Republike Srpske, Banja Luka, 1996.
- 3) Todorović, Zdravko i drugi: Izlazna kontrola u sistemu kvaliteta (Product control), Nauka, Beograd, 2000.
- 4) Popović, Branko: Procesna kontrola u Sistemu kvaliteta (Process control), Naučna knjiga, Beograd, 2000.
- 5) Bobrek Miroslav: QMS Design: projektovanje sistema menadžmenta kvalitetom– Mašinski fakultet, Banja Luka, 2000.
- 6) Đorđević Dejan: Sistem upravljanja kvalitetom, Tehnički fakultet Mihajlo Pupin, Zrenjanin, 2003.
- 7) Basu Ron: Implementing Quality: A practical guide to tools and techniyues, Thomson Learning, 2004.
- 8) Lovrić, Miodrag i drugi: Statistička analiza – metodi i primjena, Ekonomski fakultet Banja Luka, Banja Luka, 2006.
- 9) Mikić, Đuro: Sistemi – struktura i upravljanje, Visoka škola za ekonomiju i informatiku – Prijedor, Prijedor, 2007.
- 10) Novaković, Zoran, Mikić, Đuro: Alati kvaliteta, Visoka škola za ekonomiju i informatiku – Prijedor, Prijedor, 2010.
- 11) Novaković, Zoran: Uptavljanje kvalitetom, Visoka škola za ekonomiju i informatiku – Prijedor, Prijedor, 2010.