

Optimizacija kakovosti s Taguchijevo metodo

Zakaj izbrati Taguchijevo metodo?

Genichi Taguchi je razvil statistično metodo načrtovanja eksperimentov DOE (design of experiments), v kateri uporablja del klasične statistične analize in načrtovanje parametrov za:

- načrtovanje procesa ali oblikovanje izdelka, ki je neobčutljiv za okoljske vplive,
- načrtovanje procesa ali izdelka, ki je neobčutljiv za variabilnost komponent,
- zmanjšanje variabilnosti kakovostne lastnosti procesa okoli njene ciljne vrednosti.

Taguchijeve metode načrtovanja eksperimentov so splošno uporabne za analizo in načrtovanje eksperimentov. Cilj eksperimenta po Taguchijevi metodi je identificirati vplivne parametre, ki imajo največji prispevek k variabilnosti, oz. najti tiste njihove vrednosti, ki vodijo do najmanjše variabilnosti in največje robustnosti. V literaturi najdemo deljena mnenja o primernosti te metode. V grobem lahko rečemo, da so veliko kritik povedali statistično podkovani avtorji. Taguchi poenostavlja in ne spoštuje dosledno statističnih obravnav, ker:

- pri izdelku po načelu *manj je bolje* ali *več je bolje* zanemari variabilnost. Z razmerjem signal/šum (S/N) sklepa na najboljše nivoje parametrov in njihovih kombinacij.
- kot orodje uporablja analizo variance, za katero vemo, da temelji na treh predpostavkah:

-

Predpostavke analize variance ANOVA:

1. neodvisnost in slučajnost, pri katerih je treba zagotoviti medsebojno neodvisnost obravnavanj,

2. homogenost varianc med obravnavanji

$$Y_i \sim N(\mu_i, \sigma) \quad i=1,2,\dots,K \quad \text{Za vsa obravnavanja je } \sigma \text{ enak.}$$

3. normalno porazdeljene napake

$$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$$

Pri avtorjih, ki so uporabljali Taguchijeve metode v različnih proizvodnih okoljih, zasledimo tudi pohvale. Zaradi določenih poenostavitev so uporabnejše v proizvodnih okoljih z manj statističnega znanja. Prilagojenost metode proizvodnemu okolju je tudi v tem, da sloni na predhodnem poznavanju problematike in tehnologije. Pravilnost rezultatov raziskave je odvisna od pravilno zastavljenega problema.

Osnovna ideja Taguchijeve metode je definicija kakovosti skozi denarno izgubo zaradi nekakovosti. Z načrtovanjem parametrov in z uporabo statistike, iščemo izdelek z najmanj izgubami.

Za razliko od klasičnih načinov izboljševanja procesov ali izdelkov, ki se ukvarjajo predvsem z ugotavljanjem stanja ter izvajanjem korektivnih ukrepov, se Taguchijeva metoda zadržuje bistveno dlje v tako imenovanih fazah načrtovanja OFF-LINE. To pomeni, da še pred začetkom proizvodnje skuša v proces ali izdelek 'vgraditi' šumne faktorje, kar vodi v robustnost procesov oziroma izdelkov in jih napravi manj občutljive za različne spremembe in motnje, ki so prisotne med proizvodnjo in uporabo izdelka.

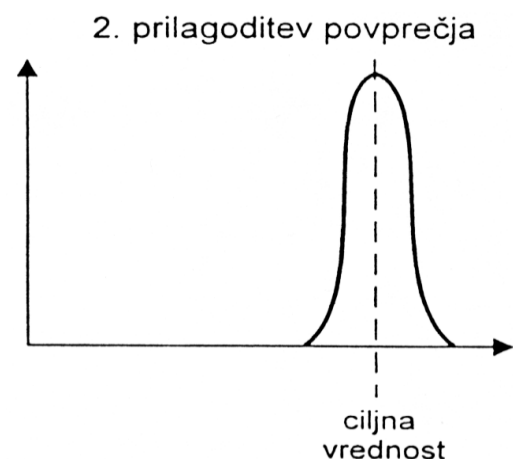
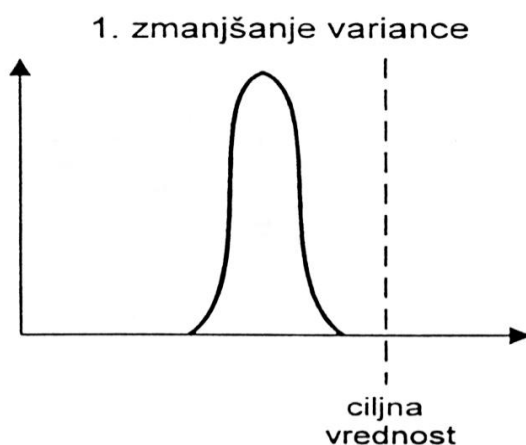
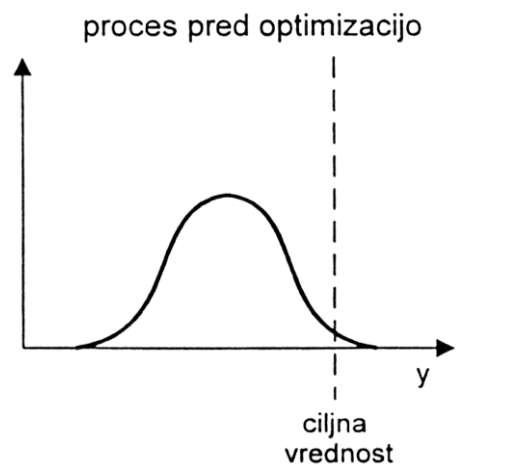
Če vnaprej vemo, kateri kontrolni parametri in katere interakcije vplivajo na izhodno lastnost izdelka, lahko z ortogonalnimi razporeditvami število poskusov precej zmanjšamo, ne da bi

pri tem izgubili katerokoli izmed pomembnejših informacij. To pa zelo zmanjša strošek raziskave.

Ugotoviti moramo, kako posamezni parametri vplivajo na povprečno vrednost proučevane lastnosti izdelka in na razmerje signal/šum (S/N). Izračun naredimo po standardni metodi analize variance, ki pove, v kolikšni meri je spreminjanje nivoja kontrolnega parametra povezano s spreminjanjem izhodne lastnosti. Analiza variance podatkov o merjeni lastnosti izdelka pokaže, kolikšen je vpliv posameznih parametrov na njeno povprečno vrednost, analiza variance podatkov o razmerju S/N pa, kolikšen je vpliv kontrolnih parametrov na njen raztros.

Najboljšo kombinacijo kontrolnih parametrov oziroma optimizacijo procesa določamo v dveh korakih; najprej določimo nivoje parametrov, ki najbolj zmanjšajo variabilnost, nato pa nivoje parametrov, ki najbolj povečajo natančnost izbrane lastnosti izdelka.

Pri načrtovanju parametrov iščemo tiste faktorje, ki vodijo vrednost izhodne lastnosti k manjšemu raztrosu in hkrati čim bliže k želeni vrednosti. Z optimizacijo procesa želimo v prvi fazi zmanjšati raztros okoli ciljne vrednosti, v drugi fazi pa skušamo povprečno vrednost izhodne lastnosti čim bolj približati želeni vrednosti (slika 1).

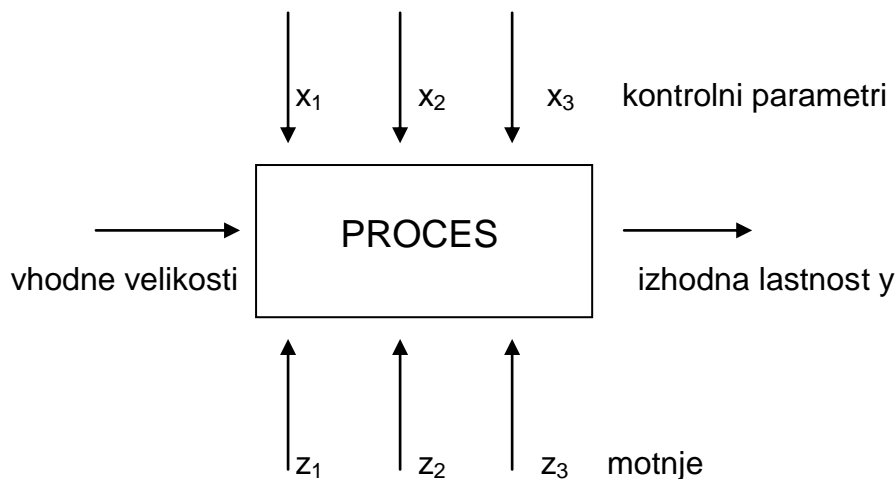


OPIS METODE

1. Načrtovanje poskusov

Raziskave navadno izvajamo zato, da bi odkrili ali spoznali lastnosti določenega procesa (izdelka). Opazujemo izid določenega procesa pri različnih nastavitvah kontrolnih parametrov in ugotavljamo prisotnost motenj. Gre za identifikacijo vzrokov, ki povzročijo spremembo odgovora našega sistema. Sistem oziroma proces lahko ponazorimo s splošnim modelom (slika 2). Nekatere od procesnih spremenljivk lahko krmilimo in nanje vplivamo, zato jih imenujemo kontrolni parametri ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$), medtem ko na nekatere ne moremo vplivati ($z_1, z_2, z_3, \dots, z_k$) in za nas pomenijo motnje.

Slika 2: Splošni model opazovanega procesa



Na splošno so glavni cilji raziskave:

- določiti, katere spremenljivke x imajo največji vpliv na izid procesa y ,
- določiti nastavitve najvplivnejših spremenljivk x tako, da se izid procesa y čim bolj približa želeni vrednosti,
- določiti nastavitve najvplivnejših spremenljivk x tako, da je variabilnost izida procesa y najmanjša,
- določiti nastavitve najvplivnejših spremenljivk x tako, da je učinek nekrmljenih spremenljivk z na izid procesa y najmanjši (robustnost).

Pri izvedbi poskusov naj bo vrstni red nastavitve parametrov čim bolj naključen. S tem se v največji možni meri izognemo možnosti sistematične napake in zmanjšamo vpliv preostalih nerelevantnih parametrov.

2. Opis Taguchijeve metode

Osnovna filozofija Taguchijeve metode je zmanjšanje denarnih izgub, ki nastanejo zaradi odmika izhodne lastnosti od predpisane vrednosti, kar imenujemo tudi nedoseganje zahtevane kakovosti. Proizvajalec želi izdelati 'idealni izdelek', ki naj bi bil čim cenejši, brez napak, odporen proti motnjam, zunanjim in notranjim vplivom, robusten pri uporabi in naj bi zadovoljil uporabnikove zahteve in potrebe. Nadalje hoče tudi stabilen proces, ki bo čim manj

občutljiv za spremembe, na katere nima vpliva, ali pa je njihovo preprečevanje predrago. Na drugi strani pa kupec želi izdelek po nizki ceni, ki bo izpolnjeval njegove potrebe, ne glede na staranje, obrabo, servisiranje in pogoje uporabe. Z industrijskim inženiringom poskušamo doseči idealen proces, ki zagotavlja idealen izdelek, oz. se mu skušamo čim bolj približati. Vsak odmik od želene vrednosti in variabilnost okoli želene vrednosti pomeni nižji nivo kakovosti izdelka. Posledica je višja cena izdelave ali nižja prodajna cena, vsekakor gre za določeno denarno izgubo, ki jo ponazarja t. i. **izgubna funkcija**.

Taguchijevo metodo lahko v grobem razdelimo v 3 faze:

1. Načrtovanje sistema je njegovo definiranje, ki mora biti tako, da najprimerneje zadovolji kupčeve potrebe. Odgovoriti je treba na vprašanje, katere lastnosti izdelka bodo najprimerneje zadovoljevale kupčeve potrebe. Pri tem nam je v pomoč t. i. izgubna funkcija, ki jasno pokaže stroške zaradi napake oziroma neizpolnjevanje kupčevih zahtev.

2. Načrtovanje parametrov je osrednji del Taguchijeve metode. Načrtovati je treba poskuse, kar dosežemo s tehniko nastavljanja parametrov na vrednosti, ki omogočajo doseganje zahtevanih izhodnih lastnosti, katere morajo biti čim bliže željeni vrednosti, njen raztros pa naj bi bil čim manjši. Načrtovanje poskusov zajema priprave, s katerimi parametri in nivoji bomo dosegli zeleno lastnost izdelka. V fazi načrtovanja parametrov je Taguchi predvidel dva sklopa inženiringa kakovosti OFF in ON-line. Inženiring kakovosti ON-line poteka med proizvodnjo in skrbi za povprečje vrednosti izhodne lastnosti y . Med fazo ON-line poteka nadziranje povprečnih vrednosti med proizvodnjo, nastavitve parametrov na nominalno vrednost in oženje porazdelitve z zmanjševanjem toleranc za parametre. V fazi OFF-line, ki se začne pred začetkom proizvodnje, vgrajuje robustnost v izdelek tako, da išče rešitev zanjo, ki bo jamčila zadovoljstvo pri uporabi izdelka. Z načrtovanjem parametrov iščemo odgovor, kako doseči kupčeve zahteve oz. zadostiti kakovosti izdelka. S pravilno kombinacijo parametrov se želimo čim bolj približati zeleni lastnosti izdelka ob najmanjšem raztrosu. To je povezano z velikimi stroški, zato je treba sestaviti kar najbolj racionalen načrt poskusov, na osnovi katerih bo možno sklepati o vplivu posameznih parametrov na izhodno kakovostno lastnost in sestaviti najboljšo kombinacijo za nastavitve vplivnih parametrov.

3. Načrtovanje toleranc

Kadar zgolj z izbiranjem vrednosti parametrov cilj še ni dosežen, je treba zaostri tolerance za vplivne parametre in sprostiti tolerančne zahteve parametrom, za katere se izkaže, da nimajo pomembnejšega vpliva na kakovostne lastnosti izdelka. Razvoj, ki temelji na nepotrebnem zaostrovanju toleranc, nujno vodi k manjši konkurenčnosti izdelka.

2.1 Načrtovanje sistema

Izgubna funkcija (Quality loss function) $L(y)$

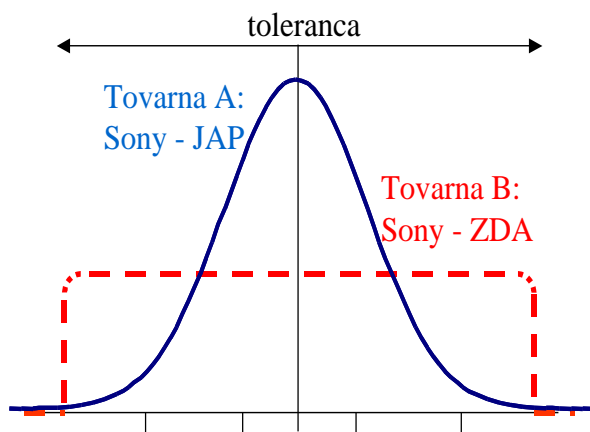
Taguchi je prvi definiral kakovost na ravni denarne izgube zaradi nekakovosti. V ta namen je uvedel matematični prikaz pomena odstopanja lastnosti od želene vrednosti.

Zmanjševanje izgube za izdelek, ki po določeni lastnosti odstopa od želene vrednosti, je osnovno vodilo Taguchijeve metode optimizacije procesov oziroma izdelkov. Izgubna funkcija, ki jo je poimenoval Quality Loss Function izraža nov pogled na kakovost in pomeni filozofsko platformo, na kateri Taguchi gradi svoja najučinkovitejša orodja za inženiring kakovosti. Quality Loss Function je kvadratna funkcija, ki pove, kolikšna je denarna izguba zaradi odmikov določene lastnosti od njene ciljne vrednosti. To izgubo utrpí notranji ali zunanji kupec izdelka ali družba v celoti. Večja kot je izguba, manj zadovoljen je kupec.

Takšno pojmovanje izgube kakovosti se razlikuje od običajnega formuliranja tega parametra, kjer izgube kakovosti ni, dokler je kakovostna lastnost znotraj funkcionalnih (tolerančnih) mej. Takšno mišljenje lahko formuliramo s stopničasto funkcijo, ki določa, da so vsi izdelki s

kakovostno lastnostjo znotraj tolerančnih mej enako dobri za kupca. V območju, ko smo zunaj njenega obsega, je izdelek slab. Za razliko od te opredelitve pa se po Taguchijevem razmišljanju izdelek poslabša za določeno vrednost takoj, ko se njegova opazovana lastnost premakne iz ciljne vrednosti y_0 . Taguchijev način pojmovanja izgube kakovosti je boljši, vendar zahteva glede na naravo in vrsto procesa oziroma izdelka določitev funkcionalnih mej in stroškov zamenjave.

Zgornjo navedbo prikazuje slika 3. Rdeča krivulja ponazarja porazdelitev vrednosti nastavitve parametrov pri izdelavi televizorjev tovarne Sony v ZDA, modra pa to stanje na Japonskem. V ZDA so bile vse nastavitve parametrov sicer znotraj tolerančnih mej, vendar so imele večji raztros okoli prave vrednosti. Rezultat je bil slabša kakovost televizorjev, ki so se hitreje kvarili in zato bili manj konkurenčni.



Slika 3: Porazdelitev vrednosti nastavitve

Izgubno funkcijo $L(y)$ definiramo z izrazom 1 in ponazorimo s sliko 4:

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta_0} (y-y_0)^2 = k (y-y_0)^2 \quad [$$

izraz 1

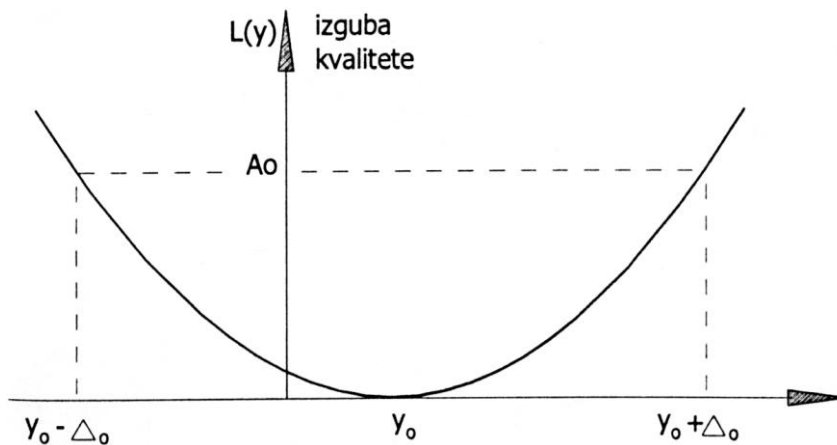
y ... kakovostna lastnost

y_0 ... ciljna (želena) vrednost

k ... koeficient izgube kakovosti

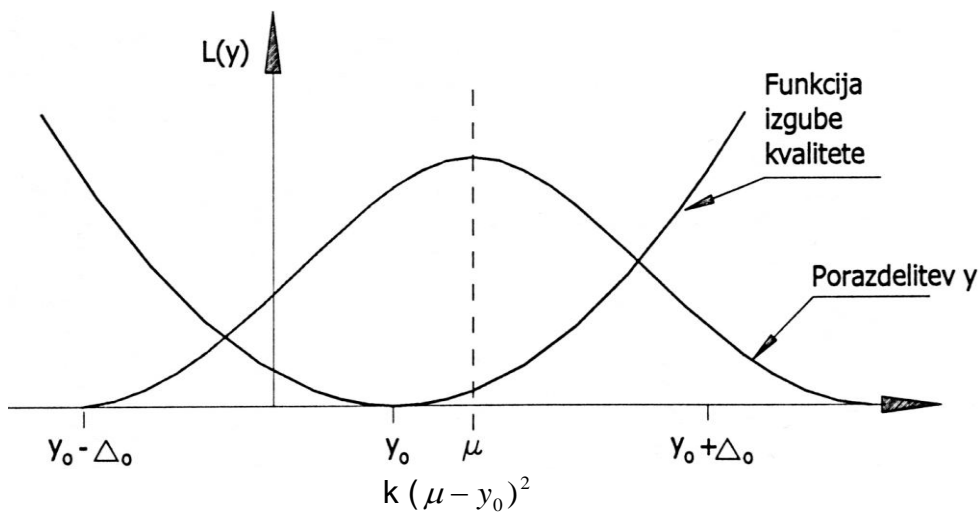
A_0 ... stroški zamenjave ali popravila

Δ_0 ... dovoljen odmik (toleranca)



Slika 4: Izgubna funkcija

Izgubna funkcija je odvisna od odmika od želene vrednosti in raztrosa. Razumljivo je, da bo povprečna izguba na izdelek manjša, ko bo vrednost določene lastnosti pri večini izdelkov čim bližje ciljni vrednosti. Iz česar sledi: porazdelitev vrednosti določene lastnosti naj bo čim ožja, njena srednja vrednost pa enaka ciljni vrednosti. Naloga Taguchijeve metode je stisniti porazdelitev izhodne lastnosti čim bolj skupaj, njeno povprečno vrednost pa čim bolj približati željeni vrednosti za posamezen izdelek, slika 5 in slika 1.



Slika 5: Vplivi na izgubo

Kvadratna oblika zapisa funkcije nudi možnost razčlenitve vplivov na izgubo kakovosti Q

$$Q = k[(\mu - y_0)^2 + \sigma^2] \quad \text{[izraz 2]}$$

1. odklon povprečne vrednosti od zahtevane $k[(\mu - y_0)^2]$
2. raztros meritev lastnosti y okoli njene lastne povprečne vrednosti $k \cdot \sigma^2$

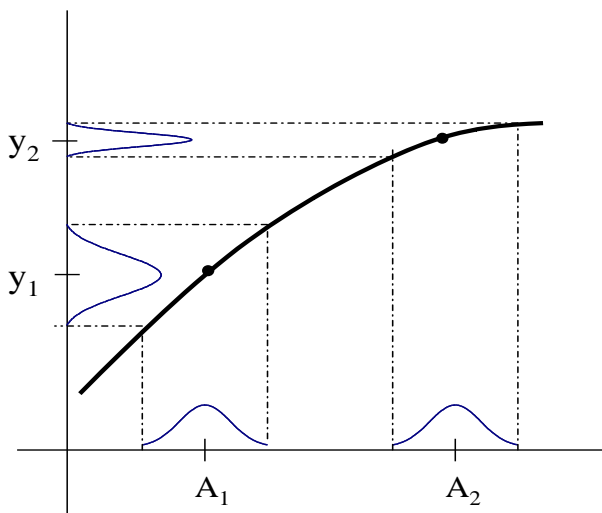
Z zmanjšanjem katerekoli od obeh komponent zmanjšamo povprečno izgubo kakovosti Q. Vendar pri zmanjšanju ene od komponent ne smemo povečati druge.

Kontrolni parametri

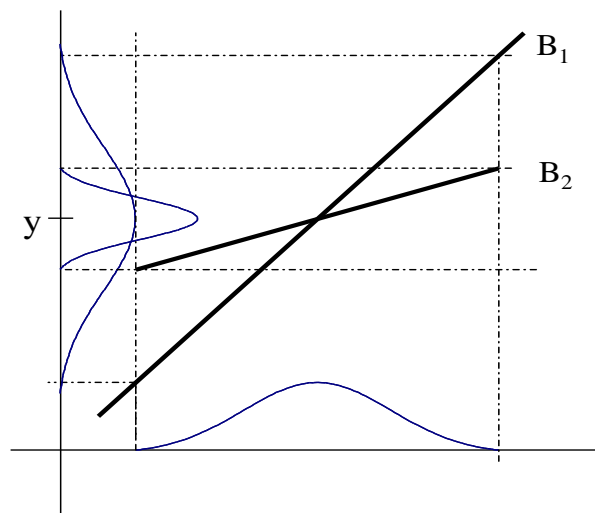
Kontrolni parametri so tisti, na katere lahko vplivamo, jih nadziramo in z njimi vplivamo na izhodno lastnost. Ločimo med kontrolnimi parametri procesa, s katerimi nadziramo proces in kontrolnimi parametri izdelka, s katerimi definiramo lastnosti izdelka v fazi izdelave. Kontrolne parametre izdelka imenujemo tudi konstrukcijski parametri. Določi jih proizvajalec, kupec jih ne more spreminjati.

Kontrolni parametri procesa so namenjeni za nastavitve, kot so pritisk, temperatura, sila, vrsta orodja, vrsta materiala, količina, koncentracija, število obratov, odvodna hitrost in drugi. Pomembno je, da vemo, kakšen vpliv na izhodno lastnost ima parameter, kar se nanaša na velikost in vrsto vpliva. Vpliv parametra na izhodno lastnost je lahko ključen ali pa zanemarljivo majhen. Razen tega moramo poznati še vrsto vplivanja, ali parameter vpliva na povprečno vrednost izhodne lastnosti ali na njen raztros. Vrste parametrov glede na vpliv na vrednost izhodne lastnosti prikazuje slika 6.

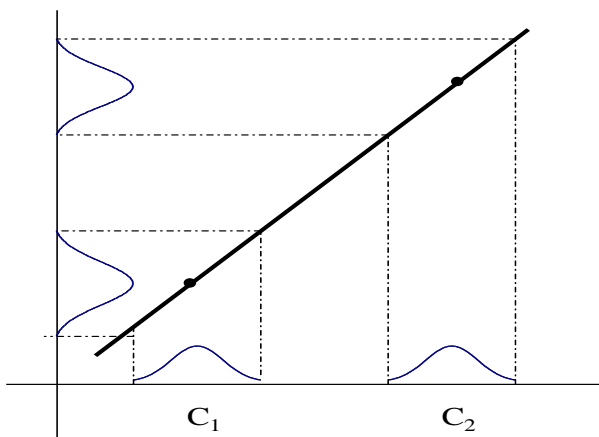
Parameter A vpliva na povprečno vrednost in na raztros izhodne lastnosti y



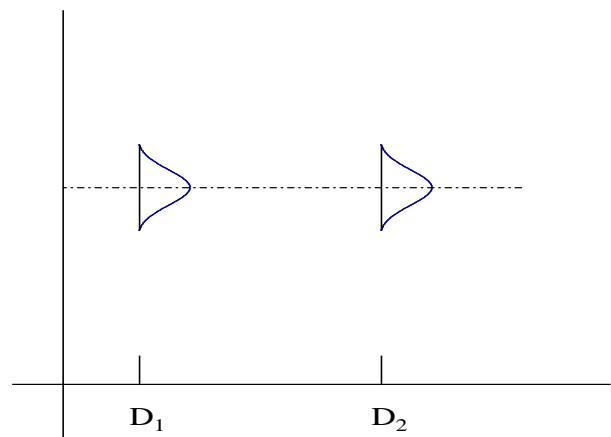
Parameter B vpliva le na raztros izhodne lastnosti y



Parameter C vpliva le na povprečno vrednost izhodne lastnosti y



Parameter D ne vpliva niti na prvo niti na drugo



Slika 6. Vrste parametrov glede na vpliv na vrednost y

Motnje

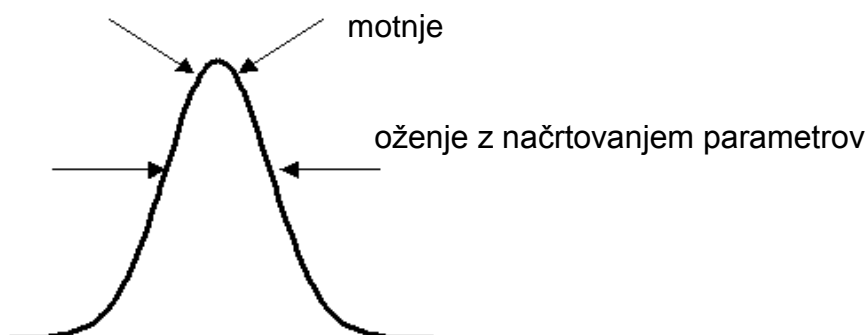
V vseh industrijskih proizvodnjah se pojavljajo procesne motnje. Za optimalen proces moramo motnje najprej prepoznati, poznati njihov vpliv na proces in jih odpraviti, oziroma nanje vplivati. Motnje, na katere lahko vplivamo, so npr. vzdrževanost strojev, nihanje vhodnih materialov, nihanje kakovosti polizdelkov, človeški faktor, napake zaradi nastavitve nivojev parametrov itd. Poleg takih, na katere lahko vplivamo, so v industriji prisotne še motnje, na katere nimamo vpliva, ali pa je ta neekonomičen. Npr. spremenljivost zunanjih pogojev, klimatske in vremenske razmere, dražja surovina, investicije v novo tehnologijo, itd. Motnje pa niso prisotne samo med izdelavo izdelka, ampak tudi med njegovo uporabo. To so dejavniki, ki vplivajo na izdelek med uporabo, na katere proizvajalec ne more vplivati, kupec pa nima želje, da bi vzroke nadzoroval.

Pri vseh vrstah motenj govorimo o t. i. faktorjih šuma, ki so glavni krivci za izgubo kakovosti. Zaradi motenj v proizvodnem procesu in tudi pri uporabi izdelka moramo že pri oblikovanju izdelka vgraditi načrtovanje robustnosti. Robustnost procesa pomeni, da proces dosega optimalne vrednosti kljub motnjam (šumu), ki so prisotne med izdelavo izdelka. Robusten izdelek je tisti, katerega lastnosti dosegajo optimalne vrednosti kljub motnjam, ki so prisotne med izdelavo in uporabo. S povečevanjem robustnosti želimo zmanjševati izgube zaradi odstopanja kakovosti.

Za Taguchijev inženiring kakovosti je faza OFF-line pomembnejša, ker se z njo začne gradnja robustnega izdelka. Izraz robustnost lahko razumemo kot neobčutljivost izdelka za kakršnekoli motnje. Iščemo vrednosti kontrolnih parametrov, pri katerih motnje nimajo vpliva na izhodno lastnost izdelka. V tej fazi določimo nominalne vrednosti parametrov in vgrajujemo robustnost v izdelek oziroma proces (slika 7). Določimo optimalne vrednosti kakovosti, čemur sledi iskanje optimalnih nastavitve kontrolnih parametrov, pri katerih se zmanjša vpliv motenj, ki jih ne moremo nadzirati in omejevati. Robusten izdelek pomeni neobčutljivost za pogoje in motnje proizvodnje in uporabe, zanesljivo vrednost izhodne lastnosti brez nihanja oz. z majhnim nihanjem, kar ima za posledico manjšo denarno izgubo zaradi nekakovosti. Kakovost izdelka je tudi bolj konstantna.

Robustnost lahko iščemo tudi tako, da v proces vsilimo tiste motnje, ki jih lahko nadziramo ali kakorkoli krmilimo. Celoten eksperiment je zasnovan tako, da poleg kontrolnih parametrov načrtujemo tudi motnje, ki jih ponazorimo s t. i. faktorji šuma. Na ta način lahko proučujemo vpliv posameznih motenj na izhodno lastnost oziroma odpornost kontrolnih parametrov proti posameznim motnjam.

Slika 7: Inženiring kakovosti OFF-line vsebuje vgrajevanje robustnosti v izdelek



Razmerje signal/šum S/N

Kot mero robustnosti je Taguchi uvedel razmerje signal/šum [S/N], kjer *signal* pomeni izid opazovanega procesa oziroma vrednost opazovane kakovostne lastnosti, *šum* pa raztros vrednosti kakovostne lastnosti zaradi motenj, kot so okoljski vplivi, notranje variabilnosti procesa ali variabilnosti med različnimi izdelki. Zaradi angleških izrazov signal in noise je oznaka za razmerje S/N in pomeni signal to noise.

Razmerje S/N služi kot matematični pripomoček pri analizi poskusov in napovedovanju najboljših kombinacij kontrolnih parametrov. V Taguchijevi metodi je univerzalno merilo uspešnosti optimizacija procesa. Vselej velja najpomembnejše načelo: doseči je treba čim višjo vrednost razmerja S/N.

Večji kot je odklon kakovostne lastnosti od želene vrednosti, večji je povprečen kvadratni odklon, manjša (v absolutnem smislu) je vrednost S/N. In obratno: pri optimiranju statičnih problemov uporablja S/N, ki je izračunan po formuli:

$$S/N = -10 \log_{10} (\text{vsota kvadratov}/n) \quad [\text{izraz 3}]$$

Izdelek bo najmanj občutljiv za motnje, kadar bo razmerje S/N najvišje, h katerega večji vrednosti lahko prispevata nastavitev vsakega parametra ali interakcija med parametri.

Razmerje S/N je izpeljano iz funkcije izgub kakovosti, kar pomeni, da je odvisno tudi od tipa kakovostne lastnosti. Pri načelu *nominalno je najbolje* iščemo parametre, ki vplivajo na raztros (variabilnost).

Izraz za razmerje signal/šum S/N za načelo *nominalno je najbolje*

$$S/N = -10 \log_{10} \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad [\text{izraz 4}]$$

Izraz 5 za razmerje signal/šum S/N za načelo *manj je bolje*

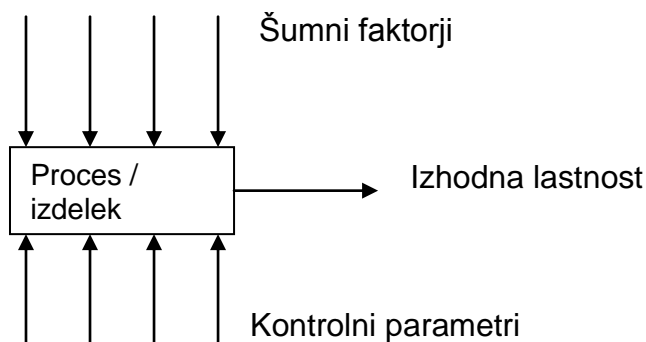
$$S/N = -10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad [\text{izraz 5}]$$

Izraz 6 za razmerje signal/šum S/N za načelo *več je bolje*

$$S/N = -10 \log_{10} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad [\text{izr}]$$

Načrtovanje poskusa

Za uspešnost izboljšanja procesa ali kakovosti izdelka je zelo pomembno poznavanje problematike. V ta namen je treba vedno najprej določiti projektno ekipo, sestavljeno iz tehnologov oziroma ljudi, ki dobro poznajo tehnologijo procesa. Zelo natančno je treba opredeliti problem, kaj pri izdelku oziroma katere njegove lastnosti želimo analizirati. Jasno moramo definirati ali vsaj predvideti, kateri parametri nanj vplivajo in kateri delujejo v povezavi. Upoštevati moramo vplive šumnih faktorjev. Projektna ekipa razpravlja in določi vplivne parametre in njihove interakcije. Sledi odločitev, katere parametre bomo zajeli v raziskavo. Problematiko shematsko ponazorimo s P-diagramom (slika 9).



Slika 9 : P-diagram

Poleg P-diagrama lahko problem ponazorimo še z diagramom poteka, ki prispeva strukturo pri razmišljanju o procesu ali z diagramom ribja kost.

Ko smo definirali problem, katero izhodno lastnost bomo proučevali, s katerimi parametri in na koliko nivojih, kakšne so interakcije med parametri in kako bomo upoštevali motnje, moramo izdelati načrt poskusov, ki pokaže, koliko jih bomo morali izvesti in kakšne so nastavitve parametrov, da bomo zaznali njihove značilnosti. Jasno je, da je število poskusov odvisno od števila proučevanih parametrov, njihovih nivojev in medsebojnih učinkov. Če je število vseh poskusov majhno, lahko izvedemo popoln faktorski poskus, ki je metoda, s katero naredimo vse možne kombinacije parametrov in tako ugotovljamo njihove učinke. Tak postopek je možen samo v primerih z malo parametri z malo nivoji. Če imamo npr. samo 2 parametra na 2 nivojih, so možne samo štiri kombinacije. V tem primeru popolnega faktorskega poskusa ni težko izvesti. Kadar imamo večje število parametrov in nas zanimajo še njihove interakcije, je popoln faktorski poskus preobsežen in predrag. Zato smo raje uporabili delni faktorski poskus (FFE - Fractional Factorial Experiment). Delni faktorski poskus obdrži ortogonalnost – statistično neodvisnost in pogoje, ki so vezani nanjo. In v tem trenutku nam Taguchi ponudi idealno rešitev s svojimi ortogonalnimi razporeditvami.

Ortogonalne razporeditve

Taguchi uporablja vrsto ortogonalnih tabel in jih je poimenoval standardne ortogonalne razporeditve nivojev (Orthogonal Arrays). V kontekstu eksperimentalnih matrik pomeni ortogonalnost statistično neodvisnost. Pri vsakem nivoju posameznega parametra se nivoji drugega parametra pojavljajo v enakem številu. To zagotavlja uravnoteženost poskusa in omogoča, da učinek enega parametra proučujemo ločeno od učinka drugega.

Z ortogonalnimi razporeditvami močno zmanjšamo število potrebnih poskusov, ne da bi pri tem izgubili pomembne podatke. Število poskusov je odvisno od števila obravnavanih parametrov, njihovih nivojev ter interakcij. Za posamezni poskus je treba izbrati optimalno ortogonalno razporeditev tako, da število poskusov ne bi presegalo potrebne kvote, vendar mora biti vsaj tolikšno, kot je število prostostnih stopenj v eksperimentu, ki so merilo za delež informacije za proučevano lastnost.

Izračun števila prostostnih stopenj (PS)

$$\begin{aligned} \text{Število PS povprečja vseh meritev} &= 1 \\ \text{Število PS posameznega parametra} &= \text{št. nivojev posameznega parametra} - 1 \\ \text{Število PS interakcij} &= (\text{št. nivojev enega parametra} - 1) * (\text{št. nivojev drugega} - 1) \\ \text{Število PS eksperimenta} &= \text{vsota vseh PS} \end{aligned}$$

Zapis ortogonalne razporeditve $L_n (y^x)$ preberemo kot n potrebnih vrstic v tabeli oz. število potrebnih poskusov, če variramo x parametrov na y nivojih. Ortogonalna razporeditev je definirana z ortogonalno tabelo, linearnimi grafi in trikotno tabelo.

Ortogonalne tabele

Z njimi definiramo kombinacije nivojev posameznih parametrov v enem poskusu. Število vrstic v tabeli pomeni število potrebnih poskusov (kombinacij). Stolpci pomenijo glavne parametre in njihove interakcije. Celica posamezne vrstice prikazuje nivo parametra.

Najpreprostejšo ortogonalno tabelo L_4 prikazuje tabela 2.

Tabela 2: Ortogonalna tabela $L_4 (2^3)$

Številka poskusa	Ime faktorja		
	A	B	A*B
	Številka stolpca		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Ortogonalna tabela L_4 vsebuje 2 kontrolna parametra A in B na 2 nivojih ter njuno interakcijo $A*B$, ki zaseda 3. stolpec. Vsakemu parametru pripada določen stolpec, oziroma je mogoče določene stolpce dodeliti medsebojnim vplivom parametrov.

Iz tabele razberemo nivoje parametrov v posameznem poskusu. V poskusu 1 bodo nivoji vseh parametrov nastavljeni na nivo 1. V poskusu 2 bo parameter A nastavljen na nivo 1, parameter B pa na nivo 2 itd. Vseh poskusov je štiri, kar nam tudi pove število prostostnih stopenj celotnega poskusa.

Standardne ortogonalne tabele:

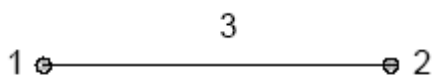
- za parametre na 2 nivojih: $L_4, L_8, L_{12}, L_{16}, L_{32}$
- za parametre na 3 nivojih: L_9, L_{18}, L_{27}
- kombinirane (2- in 3-nivojske)

Linearni grafi

Ko smo izbrali ortogonalno tabelo, moramo določiti, kateri stolpec v tabeli opisuje posamezen parameter in katero interakcijo. To nam omogoča, da ločeno proučujemo glavne in križne učinke parametrov. Tu si pomagamo s standardnim linearnim grafom. Narišemo linearen graf našega poskusa in ga primerjamo s standardnimi grafi, ki pripadajo izbrani ortogonalni tabeli. Vsaka ortogonalna tabela ima navadno več linearnih grafov, ki se razlikujejo po proučevanju čistih vplivov ali vplivov interakcij med parametri. Izbremo tistega, ki je najpodobnejši našemu primeru.

Številka oglišča na grafu pomeni številko stolpca OA v tabeli, v katerem je čisti vpliv parametra. Daljica med ogliščema pokaže stolpec oziroma parameter, katerega glavnemu učinku bomo dodali tudi medsebojno interakcijo parametrov iz oglišč.

Linearni graf za L_4



Točka 1 pomeni, da je parameter A predstavljen v prvem stolpcu ortogonalne tabele, točka 2 pa, da je parameter B predstavljen v 2. stolpcu. Daljica med njima pomeni, da je interakcija $A*B$ v tretjem stolpcu v ortogonalni tabeli.

Statistična metodologija

Kot orodje za ugotavljanje vplivov posameznih parametrov na izhodno lastnost uporablja Taguchi v svoji metodi analizo variance. Z njo preverjamo domnevo o enakosti povprečij po obravnavanjih.

Enosmerna analiza variance

Za lažje razločevanje poskusov (kombinacij nivojev parametrov) bomo enemu poskusu rekli obravnavanje. Torej vsebuje celoten poskus več obravnavanj, ki se medsebojno razlikujejo po nastavitvi nivojev proučevanih parametrov.

Variabilnost obravnavanja povzročajo:

- proučevani dejavniki, ki so predmet raziskave in jih izberemo sami glede na namen raziskave; ti so lahko kontrolni parametri ali kontrolirani faktorji šuma;
- kontrolirani moteči dejavniki;
- nekontrolirani moteči dejavniki, za katere vemo, da vplivajo na izhodno lastnost, a jih ne moremo kontrolirati ali nanje vplivati, zato ta del variabilnosti ostane nepojasnen in ga imenujemo ostanek ali eksperimentalna napaka.

Mera variabilnosti izhodne lastnosti je vsota kvadriranih odklonov od povprečja. Označimo jo z VKO (v literaturi: sum of squares SS). VKO_{sk} je vsota VKO znanih dejavnikov in VKO_{ost} , ki ponazarjajo nepojasnjeno variabilnost.

$$VKO_{sk} = VKO_{obr} + VKO_{ost}$$

Skupna variabilnost = variabilnost, pojasnjena z obravnavanji + nepojasnjena variabilnost

Tabela 3: Analiza variance

Vir variabilnosti	VKO vsota kvadriranih odklonov	SP stopinje prostosti	SKO srednji kvadrirani odklon	F
Obravnavanja (med obravnavanji)	VKO_{obr}	$SP_{obr} = K - 1$	$\frac{VKO_{obr}}{SP_{obr}}$	$\frac{SKO_{obr}}{SKO_{ost}}$
Ostanek (znotraj obravnavanj)	VKO_{ost}	$SP_{ost} = N - K$	$\frac{VKO_{ost}}{SP_{ost}}$	
Skupaj	VKO_{sk}	$SP_{sk} = N - 1$		

K število obravnavanj

N število vseh ponovitev