

Minőségjavító kísérlettervezés

TAGUCHI ÉS SHAININ

Taguchi módszere a minőség kísérletes javítására

1. példa

Ina Tile: sok a selejt – a kemence különböző pontjain a hőmérséklet nem azonos

A kemence áttervezése és átépítése helyett a csempe-massza receptúráját változtatták meg úgy, hogy az ne legyen annyira érzékeny az égetés hőmérsékletére.

csempe

Minőségjavító kísérlettervezés

$$x_4 = -x_1x_2$$

$$x_5 = -x_1x_3$$

$$x_6 = -x_2x_3$$

$$x_7 = x_1x_2x_3$$

2^{7-4} terv (régi szint a szürke):

	faktor	-1	+1
A	agalmatolit típusa	jelenlegi	olcsóbb
B	az adalék szemcsézettsége	durva	finom
C	mészke mennyisége	5%	1%
D	selejt-visszaforgatás	0%	4%
E	betöltött mennyiség	1300 kg	1200 kg
F	agalmatolit mennyisége	43%	53%
G	földpát mennyisége	0%	5%

(az agalmatolit drága)

Taguchi

3

	A	B	C	D	E	F	G	selejt %
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	16.0
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	17.0
3	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	12.0
4	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	6.0
5	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	6.0
6	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	68.0
7	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	42.0
8	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	26.0

Taguchi

4

Minőségjavító kísérlettervezés

		hatás	b	sorrend	választandó
	átlag/tengelymetszet	24.125	24.125		
A	agalmatolit típusa	10.250	5.125	V	-1 (jelenlegi)
B	adalék szemcsézettsége	-5.250	-2.625	VI	+1 (finom)
C	mészke mennyisége	22.750	11.375	I	-1 (5%)
D	selejt-visszaforgatás	21.250	10.625	II	-1 (0%)
E	betöltött mennyiség	-12.750	-6.375	IV	+1 (1200 kg)
F	agalmatolit mennyisége	-2.250	-1.125	VII	+1 (53%)
G	földpát mennyisége	-17.750	-8.875	III	+1 (5%)

Nem az okot, hanem a következményt enyhítették

Taguchi

5

		b	Választott szint (x_i)	$b \cdot x_i$
	átlag/tengelymetszet	24.125		
A	agalmatolit típusa	5.125	-1	-5.125
B	adalék szemcsézettsége	-2.625	1	-2.625
C	mészke mennyisége	11.375	-1	-11.375
D	selejt-visszaforgatás	10.625	-1	-10.625
E	betöltött mennyiség	-6.375	1	-6.375
F	agalmatolit mennyisége	-1.125	-1	1.125
G	földpát mennyisége	-8.875	1	-8.875
	becsült			-19.75

Meglepő!

Nem normális (hanem binomiális) eloszlás szerinti ingadozás, σ nem konstans!

$$\text{Var}\left(\frac{k}{n}\right) = \frac{p(1-p)}{n}$$

$$y = \arcsin \sqrt{p}$$

Taguchi

6

Minőségjavító kísérlettervezés

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	AGALM_TY	GRANUL_A	LIME_ADD	WASTE_RE	CHARGE	AGALM_CO	FELDSPAR	DEF_NO	TRAF_DEF
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	16	26.2
2	1	-1	-1	1	1	-1	1	17	27.1
3	-1	1	-1	1	-1	1	1	12	22.5
4	1	1	-1	-1	1	1	-1	6	15.8
5	-1	-1	1	-1	1	1	1	6	15.8
6	1	-1	1	1	-1	1	-1	68	61.7
7	-1	1	1	1	1	-1	-1	42	44.9
8	1	1	1	-1	-1	-1	1	26	34.1

TRAF_DEF=ArcSin(Sqrt(v8/100))*200/Pi

Taguchi 7

$y = \arcsin \sqrt{p}$ (grad: 100 a derékszög)

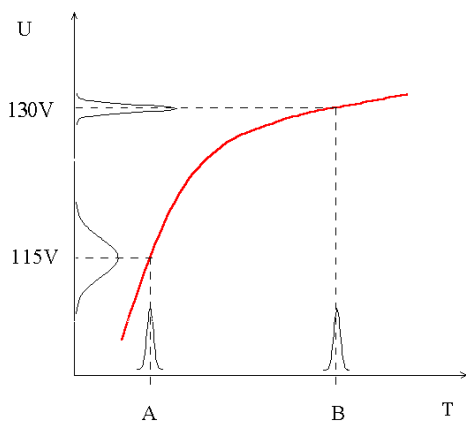
	hatás	b	választott szint (x_i)	$b \cdot x_i$
átlag/tengelymetszet	30.975	30.975		
A agalmatolit típusa	7.300	3.650	-1	-3.650
B adalék szemcsézettsége	-3.350	-1.675	1	-1.675
C mészkő mennyisége	16.250	8.125	-1	-8.125
D selejt-visszaforgatás	16.100	8.050	-1	-8.050
E betöltött mennyiség	-10.300	-5.150	1	-5.150
F agalmatolit mennyisége	-4.150	-2.075	-1	2.075
G földpát mennyisége	-12.300	-6.150	1	-6.150
becsült				0.250

Visszatranszformálva: $2.2 \cdot 10^{-3}$ % a becsült selejtarány.

Taguchi 8

Minőségjavító kísérlettervezés

Taguchi tranzisztor-példája: a tranzisztor teljesítmény-tényezője függvényében az áramkör kimenő feszültsége:



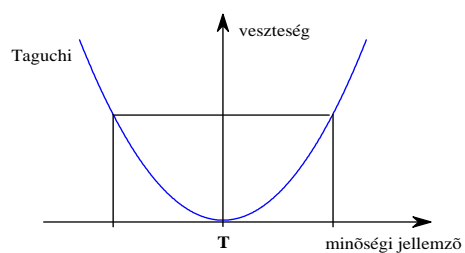
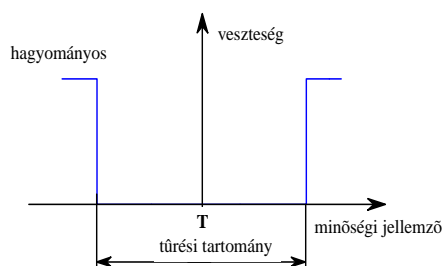
A kimenő feszültség előírt értéke 115V

Nem az okot szüntettük meg, hanem a következményét csökkentettük

Taguchi

9

A Taguchi-féle minőség-fogalom és a négyzetes veszteségfüggvény



$$L(y) = k(y - T)^2$$

Taguchi

10

Minőségjavító kísérlettervezés

y a kérdéses minőségi jellemző, T az előírt értéke (target), a veszteségfüggvény Taylor-polinommal közelíthető:

$$L(y) = L(T) + L'(T)(y - T) + L''(T) \frac{(y - T)^2}{2!} + \dots$$

$$L(T) = L'(T) = 0$$

a másodfokúnál magasabb tagokat elhagyjuk

$$L(y) = k(y - T)^2$$

A k együttható meghatározásához egyetlen összetartozó L - y értékpár elegendő

2. példa

A televízió-készülékek tápegységének előírt kimenő feszültsége 115 V. Amennyiben az eltérés 10 V, a vevő a szervízhez fordul, a javítás költsége ekkor 100 \$. Határozzuk meg a veszteség-függvény k tényezőjének értékét!

$$100\$ = k 10^2 \quad \text{és } k = \$/V^2.$$

3. példa

Milyen eltérést szabad a gyártónak az üzemben megengednie, ha a helyi javítási (pótlási) költség 10 \$?

$$\rightarrow \Delta = V \quad \text{tolerance design}$$

Minőségjavító kísérlettervezés

A minőségi jellemző a termék-sokaságra valószínűségi változó.

A veszteség-függvény értéke is valószínűségi változó.

Várható értéke:

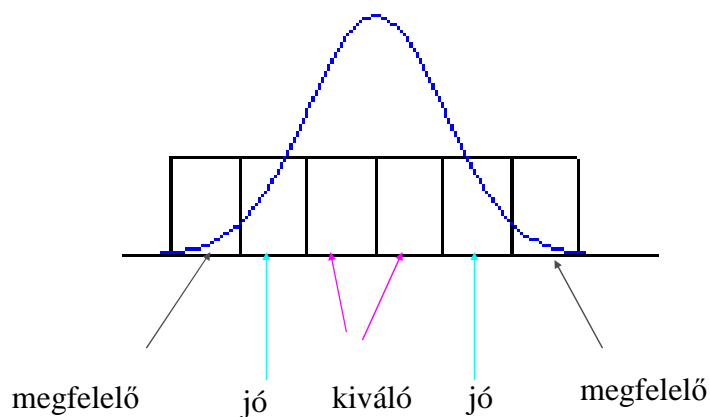
$$E[L(y)] = k E[(y-T)^2] = k \{E[(y-\mu)^2] + (\mu-T)^2\} = k[\sigma^2 + (\mu-T)^2]$$

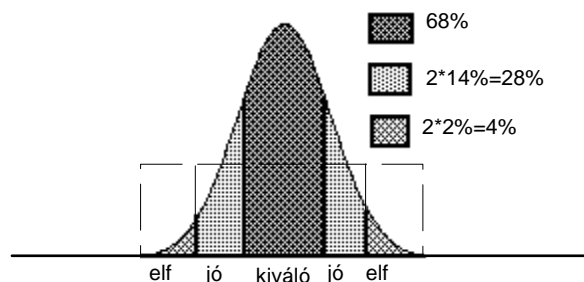
közepes négyzetes hiba (mean square error)

A veszteség-függvény várható értéke tehát annál nagyobb, minél nagyobb az ingadozás és minél nagyobb az átlagnak az előírt értéktől való eltérése.

Számolni lehet vele!

Egyenletes és normális eloszlás szerint ingadozó minőségi jellemző





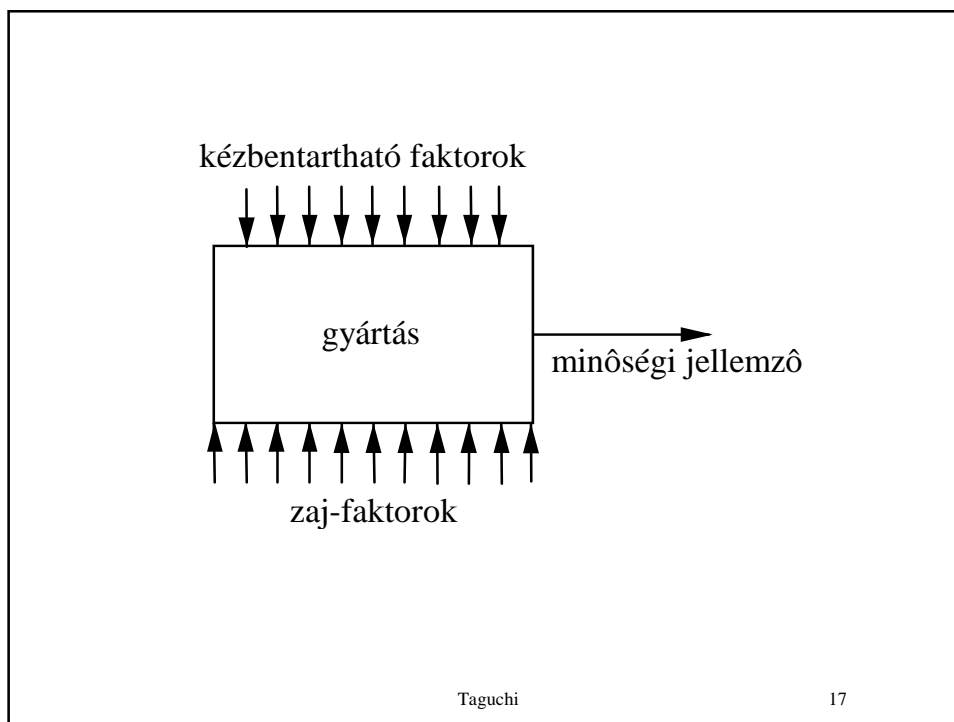
A veszteség-függvény várható értékének becslése n adatból álló mintára (átlagos veszteség):

$$\bar{L}(y) = \frac{k}{n} \sum_i (y_i - T)^2 = k \left[\frac{n-1}{n} s^2 + (\bar{y} - T)^2 \right]$$

Faktorok a minőségjavító kísérlettervezésnél

Két fő csoport

- kézbentartható faktorok (pl. a csempe összetétele ill. a sablon mérete)
- zaj-faktorok: az adott technológiai megvalósításnál nem állíthatók be (pl. a kemence különböző részeinek hőmérséklete)



A zaj-típusok:

- külső zaj: terméknél különböző használati körülmények, környezeti feltételek, gyártásnál is a környezeti feltételek változása;
- belső zaj: terméknél időbeli vagy a használat során bekövetkező változások, gyártásnál a berendezés kopása, elállítódása;
- egyedenkénti különbség: az egy időben, azonos körülmények között gyártott termék-példányok minőségi jellemzőjének ingadozása.

A cél

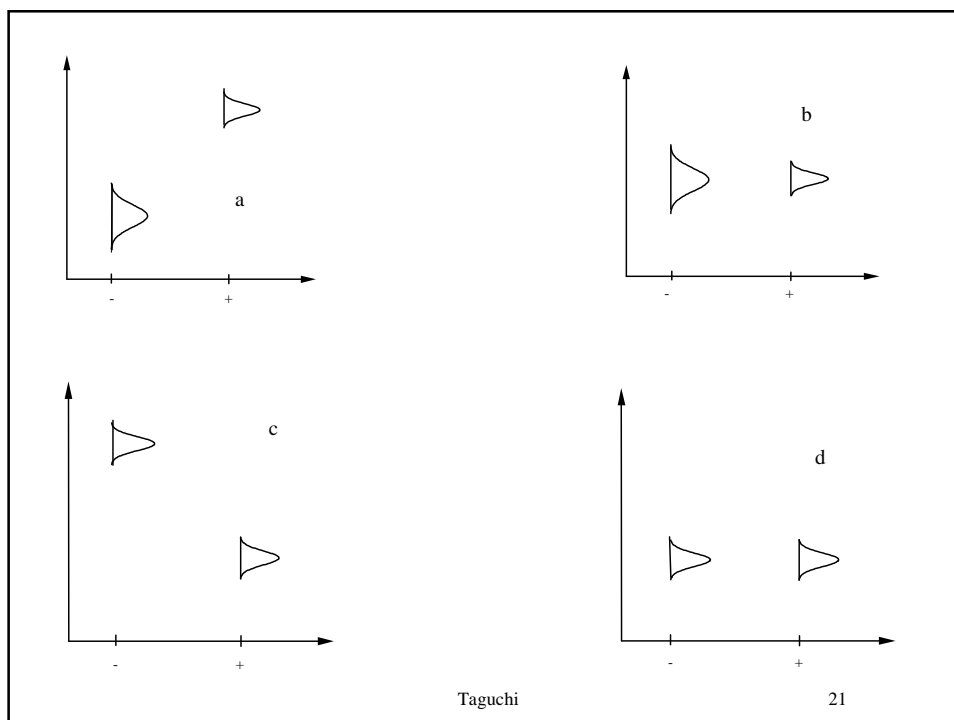
- különböző környezeti feltételek között jól működő,
- a használat során kevésbé romló,
- egyedenként kevésbé ingadozó minőségű termék
ill. gyártás kialakítása

Mely faktorok hatnak

- a szórásra
- az átlagra
- mindkettőre
- egyikre sem.

A felderítés módszere a jól tervezett kísérletsorozat.

Minőségjavító kísérlettervezés



A zaj az ismétlések szórásában tükröződik

4. példa

Egy gépkocsi-ipari beszállítónál furatba préselnek egy tengelyt, a cél a kiszakítási nyomaték előírt minimális értékének elérése.

jel	faktor neve	1. szintje	2. szintje
A	ragasztó típusa	Permabond A121	Loctite 263
B	ragasztó tömege	0.064 g	0.04 g
C	tengely-tisztítás	ahogy szállítják	tisztítva
D	ház-tisztítás	ahogy szállítják	tisztítva
E	bepréselési nyomás	40 NM	45 NM
F	állási idő	24 h	12 h
G	ragasztó alkalmazási módja	rácsöppentve	körülkenve

Minőségjavító kísérlettervezés

Minden beállítást 10-szer valósítanak meg (milyen ismétlés a jó?).
A mérési eredmények: kiszakítási nyomaték, Nm

	A	B	C	D	E	F	G	y										átlag	szórás
1	1	1	1	1	1	1	1	50	44	54	52	58	54	52	46	46	50	50.6	4.33
2	1	1	1	2	2	2	2	50	42	44	48	40	46	52	50	42	42	45.6	4.20
3	1	2	2	1	1	2	2	40	40	52	44	50	34	48	60	54	48	47.0	7.67
4	1	2	2	2	2	1	1	40	28	52	50	38	46	38	36	34	30	39.2	8.01
5	2	1	2	1	2	1	2	42	40	46	40	44	40	40	40	36	42	41.0	2.71
6	2	1	2	2	1	2	1	40	36	30	32	30	38	30	40	30	38	34.4	4.40
7	2	2	1	1	2	2	1	36	34	36	34	38	34	38	36	30	38	35.4	2.50
8	2	2	1	2	1	1	2	30	34	24	34	30	30	32	32	30	30	30.6	2.84

átlag=mean(v8:v17)
szórás=stdev(v8:v17)

Taguchi

23

A zajt terv szerint generáljuk (szorzat-terv)

5. példa

(Box és Jones, Journal of Applied Statistics, 19 3-25, 1992)

A süteményporok felhasználásánál problémát okoz, hogy a háziasszonyok nem tartják be pontosan az előírt sütő-hőmérsékletet és sütési időt. A feladat olyan süteménypor-összetétel kidolgozása, amely ilyen szempontból robusztus.

KézbentARTHATÓ faktorok: a tojáspor mennyisége, a liszt mennyisége és a zsiradék mennyisége; zaj-faktorok: a sütés hőmérséklete és időtartama.

A függő változó: a sütemény élvezeti értéke 1-7 skálán.

Taguchi

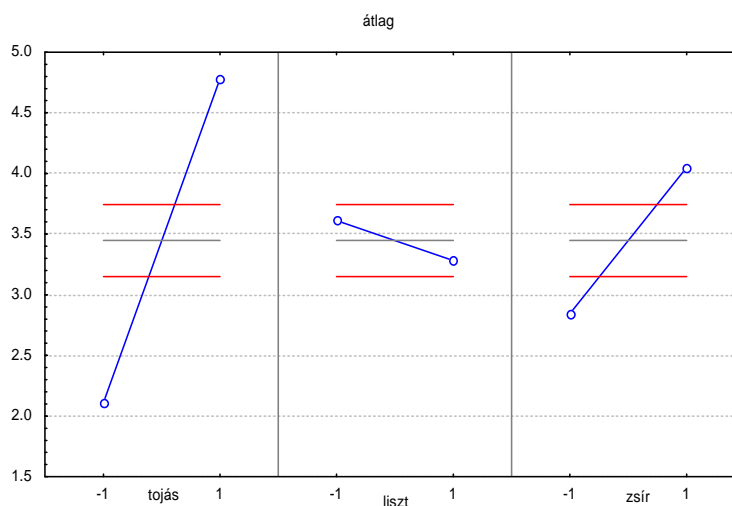
24

Minőségjavító kísérlettervezés

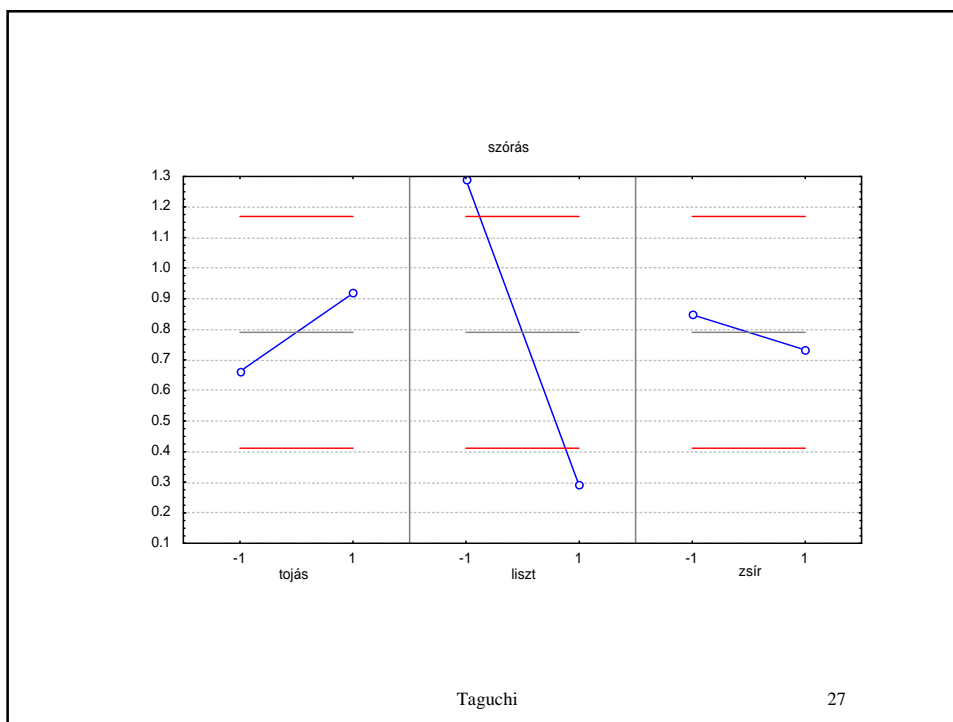
A terv és az eredmények:

				idő	-	+	-	+	átlag	szórás
				hőm.	-	-	+	+		
	tojás	liszt	zsír.							
1	-	-	-	1.3	1.6	1.2	3.1	1.800	0.883	
2	+	-	-	2.2	5.5	3.2	6.5	4.350	1.991	
3	-	+	-	1.3	1.2	1.5	1.7	1.425	0.222	
4	+	+	-	3.7	3.5	3.8	4.2	3.800	0.294	
5	-	-	+	1.6	3.5	2.3	4.4	2.950	1.245	
6	+	-	+	4.1	6.1	4.9	6.3	5.350	1.038	
7	-	+	+	1.9	2.4	2.6	2.2	2.275	0.299	
8	+	+	+	5.2	5.8	5.5	6.0	5.625	0.350	

Az eredményeket átlagra és szórásra dolgozzuk föl (nem igazi szórás, de ...).



Minőségjavító kísérlettervezés



Taguchi

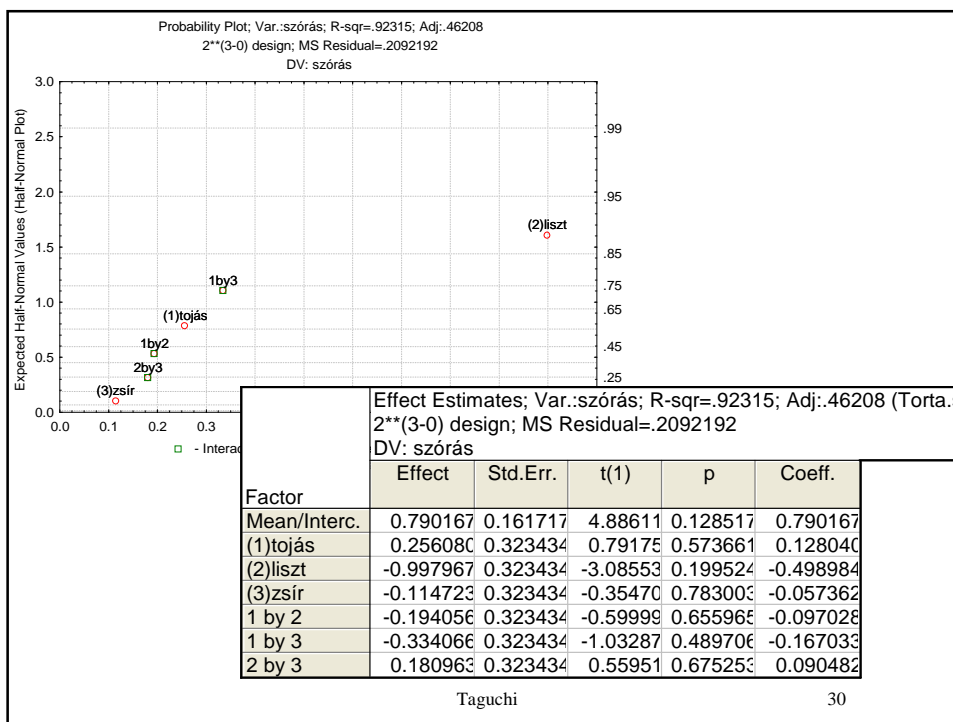
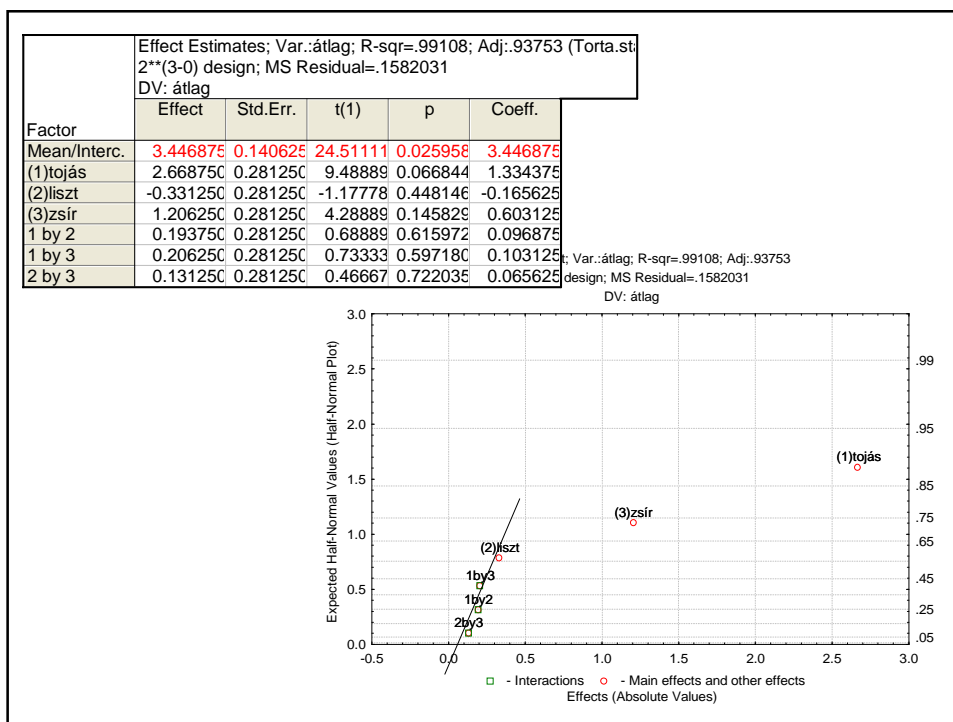
27

	1 tojás	2 liszt	3 zsír	4 y11	5 y21	6 y12	7 y22	8 átlag	9 szórás
1	-1	-1	-1	1.3	1.6	1.2	3.1	1.8	0.883
2	1	-1	-1	2.2	5.5	3.2	6.5	4.35	1.991
3	-1	1	-1	1.3	1.2	1.5	1.7	1.425	0.222
4	1	1	-1	3.7	3.5	3.8	4.2	3.8	0.294
5	-1	-1	1	1.6	3.5	2.3	4.4	2.95	1.245
6	1	-1	1	4.1	6.1	4.9	6.3	5.35	1.038
7	-1	1	1	1.9	2.4	2.6	2.2	2.275	0.299
8	1	1	1	5.2	5.8	5.5	6	5.625	0.350

Taguchi

28

Minőségjavító kísérlettervezés



Minőségjavító kísérlettervezés

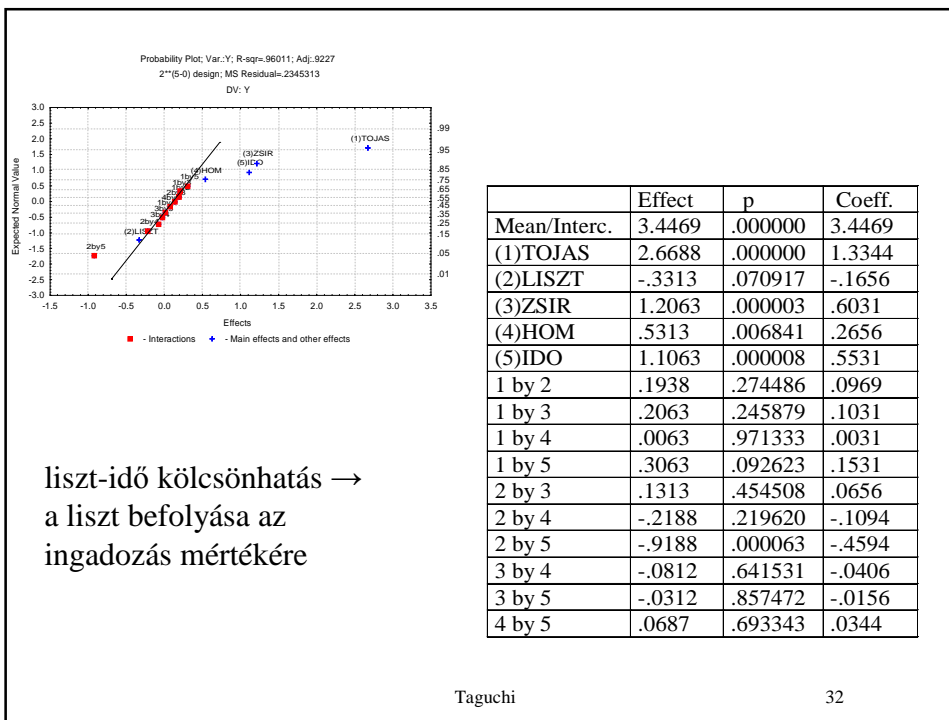
Vegyük észre, hogy a szorzat-terv fölfogható egyetlen 2^5 tervként is!

	TOJAS	LISZT	ZSIR	HOM	IDO	y
1	-1	-1	-1	-1	-1	1.3
2	1	-1	-1	-1	-1	2.2
3	-1	1	-1	-1	-1	1.3
4	1	1	-1	-1	-1	3.7
5	-1	-1	1	-1	-1	1.6
6	1	-1	1	-1	-1	4.1
7	-1	1	1	-1	-1	1.9
8	1	1	1	-1	-1	5.2
9	-1	-1	-1	-1	1	1.6
10	1	-1	-1	-1	1	5.5
11	-1	1	-1	-1	1	1.2
12	1	1	-1	-1	1	3.5
13	-1	-1	1	-1	1	3.5
14	1	-1	1	-1	1	6.1
15	-1	1	1	-1	1	2.4
16	1	1	1	-1	1	5.8

	TOJAS	LISZT	ZSIR	HOM	IDO	y
17	-1	-1	-1	1	-1	1.2
18	1	-1	-1	1	-1	3.2
19	-1	1	-1	1	-1	1.5
20	1	1	-1	1	-1	3.8
21	-1	-1	1	1	-1	2.3
22	1	-1	1	1	-1	4.9
23	-1	1	1	1	-1	2.6
24	1	1	1	1	-1	5.5
25	-1	-1	-1	1	1	3.1
26	1	-1	-1	1	1	6.5
27	-1	1	-1	1	1	1.7
28	1	1	-1	1	1	4.2
29	-1	-1	1	1	1	4.4
30	1	-1	1	1	1	6.3
31	-1	1	1	1	1	2.2
32	1	1	1	1	1	6.0

Taguchi

31



Taguchi

32

Minőségjavító kísérlettervezés

b_2	-0.166
b_5	0.553
b_{25}	-0.459

Az idő változásának
következménye

(x_2) liszt	(x_5) idő	b_2x_2	b_5x_5	$b_{25}x_2x_5$	Y része	
-	-	0.166	-0.553	-0.459	-0.846	2.024
-	+	0.166	0.553	0.459	1.178	
+	-	-0.166	-0.553	0.459	-0.260	0.188
+	+	-0.166	0.553	-0.459	-0.072	

Lehetne 2^5 helyett 2^{5-1} tervet is használni!

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_3x_3 + c_4z_4 + c_5z_5 + d_{25}x_2z_5$$

	Effect	p	Coeff.
Mean/Interc.	3.4469	.000000	3.4469
(1)TOJAS	2.6688	.000000	1.3344
(2)LISZT	-.3313	.070917	-.1656
(3)ZSIR	1.2063	.000003	.6031
(4)HOM	.5313	.006841	.2656
(5)IDO	1.1063	.000008	.5531
1 by 2	.1938	.274486	.0969
1 by 3	.2063	.245879	.1031
1 by 4	.0063	.971333	.0031
1 by 5	.3063	.092623	.1531
2 by 3	.1313	.454508	.0656
2 by 4	-.2188	.219620	-.1094
2 by 5	-.9188	.000063	-.4594
3 by 4	-.0812	.641531	-.0406
3 by 5	-.0312	.857472	-.0156
4 by 5	.0687	.693343	.0344

$$Var(\hat{Y}) = \sum_j \left(\frac{\partial \hat{Y}}{\partial z_j} \right)^2 \sigma_{z_j}^2$$

$$Var(\hat{Y}) = c_4^2 \sigma_{z_4}^2 + (c_5 + d_{25}x_2)^2 \sigma_{z_5}^2 =$$

$$= 0.2656^2 \sigma_{z_4}^2 + (0.5531 - 0.4594x_2)^2 \sigma_{z_5}^2$$

A minimum $x_2=1$ -nél van (több liszt).

Minőségjavító kísérlettervezés

6. példa

Y. Wu, A. Wu: Taguchi methods for robust design, ASME Press, 2000, p. 25

Extrudálás optimalizálása (külső átm. [cm])

WuWu_p25.sta

	1 screw	2 rpm	3 1	4 2
1	A1	32	1.596	1.604
2	A1	33	1.646	1.654
3	A1	34	1.696	1.704
4	A1	35	1.746	1.754
5	A2	32	1.586	1.594
6	A2	33	1.656	1.664
7	A2	34	1.706	1.714
8	A2	35	1.736	1.744
9	A3	32	1.916	1.924
10	A3	33	1.976	1.984
11	A3	34	2.036	2.044
12	A3	35	2.096	2.104
13	A4	32	1.598	1.602
14	A4	33	1.648	1.652
15	A4	34	1.698	1.702
16	A4	35	1.748	1.752

Kézbentartható faktorkok:

csiga típusa (4 szinten)

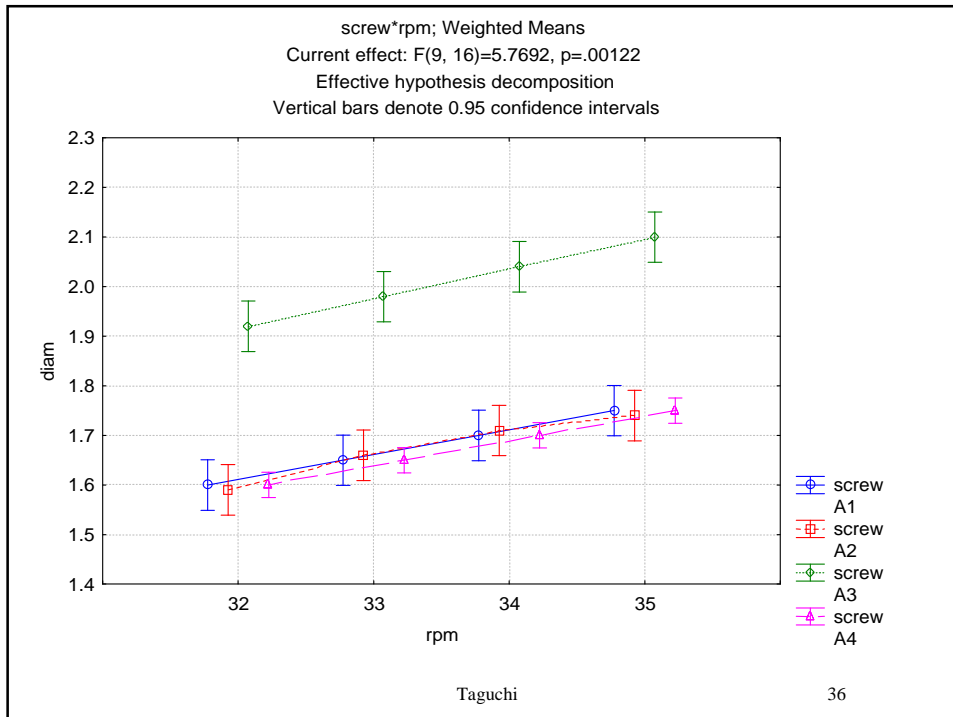
fordulatszám (4 szinten)

Zaj-faktor: kombinált, kétszintes

	N_1	N_2
Time	1h	48h
Moisture	dry	0.2%

Taguchi

35



36

Minőségjavító kísérlettervezés

	1	2	3	4	5	6
	screw	rpm	mean	sd	lnsd	rpm_mean
1	A1	32	1.60	0.0057	-5.1749	-1.5
2	A1	33	1.65	0.0057	-5.1749	-0.5
3	A1	34	1.70	0.0057	-5.1749	0.5
4	A1	35	1.75	0.0057	-5.1749	1.5
5	A2	32	1.59	0.0057	-5.1749	-1.5
6	A2	33	1.66	0.0057	-5.1749	-0.5
7	A2	34	1.71	0.0057	-5.1749	0.5
8	A2	35	1.74	0.0057	-5.1749	1.5
9	A3	32	1.92	0.0057	-5.1749	-1.5
10	A3	33	1.98	0.0057	-5.1749	-0.5
11	A3	34	2.04	0.0057	-5.1749	0.5
12	A3	35	2.10	0.0057	-5.1749	1.5
13	A4	32	1.60	0.0028	-5.8680	-1.5
14	A4	33	1.65	0.0028	-5.8680	-0.5
15	A4	34	1.70	0.0028	-5.8680	0.5
16	A4	35	1.75	0.0028	-5.8680	1.5

átlagra és szórásra dolgozzuk föl

Taguchi 37

Parameter Estimates (WuWu_p25_extrusion_meansd.s (*Zeroed predictors failed tolerance check) Over-parameterized model				
Effect	Level of Effect	Column	Comment (B/Z/P)	mean Param.
Intercept		1		-0.0000
screw	A1	2	Biased	-0.0000
screw	A2	3	Biased	-11.2100
screw	A3	4	Biased	0.0000
screw	A4	5	Zeroed*	0.0000
screw*rpm	1	6		0.0500
screw*rpm	2	7		0.7200
screw*rpm	3	8		0.0600
screw*rpm	4	9		0.0500
rpm^2		10		-0.0000
screw*rpm^2	1	11	Biased	-0.0000
screw*rpm^2	2	12	Biased	-0.0100
screw*rpm^2	3	13	Biased	0.0000
screw*rpm^2	4	14	Zeroed*	0.0000

Effect	Level of Effect	Column	Comment (B/Z/P)	sd Param.
screw	A1	2	Biased	0.002828
screw	A2	3	Biased	0.002828
screw	A3	4	Biased	0.002828
screw	A4	5	Zeroed*	0.000000
rpm		6		-0.000000
screw*rpm	1	7	Biased	0.000000
screw*rpm	2	8	Biased	0.000000
screw*rpm	3	9	Biased	0.000000
screw*rpm	4	10	Zeroed*	0.000000

Parameter Estimates (WuWu_p25_extrusion_meansd.s
(*Zeroed predictors failed tolerance check)
Over-parameterized model

Taguchi 38

$$\begin{aligned} \text{mean} &= -11.21 \cdot (\text{screw} = A_2) + \\ &+ [0.05 \cdot (\text{sc} = A_1) + 0.72 \cdot (\text{sc} = A_2) + 0.06 \cdot (\text{sc} = A_3) + 0.05 \cdot (\text{sc} = A_4)] \cdot \text{rpm} - \\ &- 0.01 \cdot (\text{screw} = A_2) \cdot \text{rpm}^2 \\ \\ \text{sd} &= 0.0028 + 0.0028 \cdot (\text{screw} \neq A_4) \end{aligned}$$

7. példa

Y. Wu, A. Wu: Taguchi methods for robust design
(ASME Press, 2000), p. 169

Aranyozás

Cél: a bevonat vastagsága legyen legalább 50 μm ,
minél kisebb ingadozással

Minőségjavító kísérlettervezés

Faktorok és szintjeik

		1	2	3
A	Gold concentration	0.7-0.75	1.1-1.15	
B	Current density	2.0	1.5	1.0
C	Temperature	95	105	115
D	Barrel speed	10	15	20
E	Anode size	1/4	1/2	1/1
F	Load size	1/4	1/3	1/2
G	pH	4.2	4.3	4.4
H	Nickel concentration	600	650	700
N	Location	off-center	center	

mindkét helyzetből két minta

A terv és az eredmények

	A	B	C	D	E	F	G	H	N ₁		N ₂	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	83	88	90	91
2	1	1	2	2	2	2	2	2	73	73	83	81
3	1	1	3	3	3	3	3	3	57	58	65	69
4	1	2	1	1	2	2	3	3	55	59	61	67
5	1	2	2	2	3	3	1	1	73	75	76	79
6	1	2	3	3	1	1	2	2	58	60	68	72
7	1	3	1	2	1	3	2	3	44	49	55	58
8	1	3	2	3	2	1	3	1	50	54	57	64
9	1	3	3	1	3	2	1	2	64	65	66	68
10	2	1	1	3	3	2	2	1	74	79	86	94
11	2	1	2	1	1	3	3	2	75	78	90	94
12	2	1	3	2	2	1	1	3	70	76	52	88
13	2	2	1	2	3	1	3	2	71	80	87	95
14	2	2	2	3	1	2	1	3	48	56	59	65
15	2	2	3	1	2	3	2	1	66	67	79	86
16	2	3	1	3	2	3	1	2	45	53	58	64
17	2	3	2	1	3	1	2	3	60	67	66	73
18	2	3	3	2	1	2	3	1	57	65	79	83

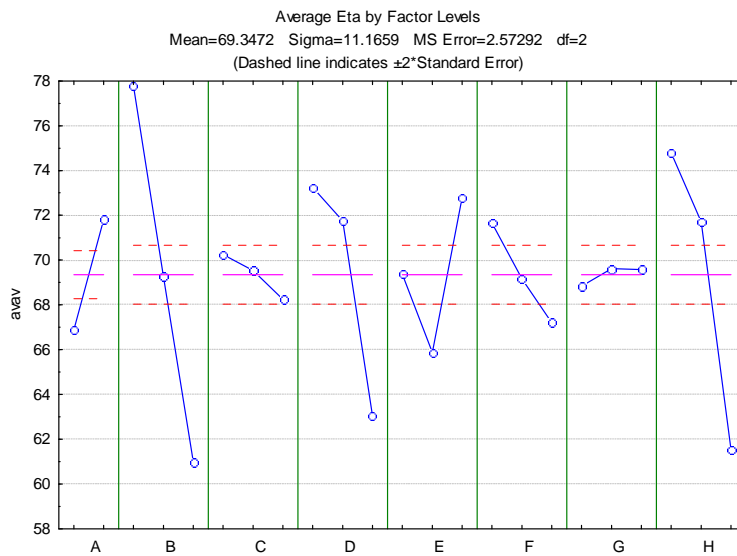
Minőségjavító kísérlettervezés

N	A	B	C	D	E	F	G	H	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	s	s ₁	s ₂	s _{inner}	\bar{y}_1	\bar{y}_2	$\bar{\bar{y}}$	s _y
									1	1	2	2								
1	1	1	1	1	1	1	1	1	83	88	90	91	3.56	3.536	0.707	2.550	85.5	90.5	88.00	3.536
2	1	1	2	2	2	2	2	2	73	73	83	81	5.26	0.000	1.414	1.000	73.0	82.0	77.50	6.364
3	1	1	3	3	3	3	3	3	57	58	65	69	5.74	0.707	2.828	2.062	57.5	67.0	62.25	6.718
4	1	2	1	1	2	2	3	3	55	59	61	67	5.00	2.828	4.243	3.606	57.0	64.0	60.50	4.950
5	1	2	2	2	3	3	1	1	73	75	76	79	2.50	1.414	2.121	1.803	74.0	77.5	75.75	2.475
6	1	2	3	3	1	1	2	2	58	60	68	72	6.61	1.414	2.828	2.236	59.0	70.0	64.50	7.778
7	1	3	1	2	1	3	2	3	44	49	55	58	6.24	3.536	2.121	2.915	46.5	56.5	51.50	7.071
8	1	3	2	3	2	1	3	1	50	54	57	64	5.91	2.828	4.950	4.031	52.0	60.5	56.25	6.010
9	1	3	3	1	3	2	1	2	64	65	66	68	1.71	0.707	1.414	1.118	64.5	67.0	65.75	1.768
10	2	1	1	3	3	2	2	1	74	79	86	94	8.69	3.536	5.657	4.717	76.5	90.0	83.25	9.546
11	2	1	2	1	1	3	3	2	75	78	90	94	9.18	2.121	2.828	2.500	76.5	92.0	84.25	10.960
12	2	1	3	2	2	1	1	3	70	76	52	88	15.00	4.243	25.456	18.248	73.0	70.0	71.50	2.121
13	2	2	1	2	3	1	3	2	71	80	87	95	10.21	6.364	5.657	6.021	75.5	91.0	83.25	10.960
14	2	2	2	3	1	2	1	3	48	56	59	65	7.07	5.657	4.243	5.000	52.0	62.0	57.00	7.071
15	2	2	3	1	2	3	2	1	66	67	79	86	9.68	0.707	4.950	3.536	66.5	82.5	74.50	11.314
16	2	3	1	3	2	3	1	2	45	53	58	64	8.04	5.657	4.243	5.000	49.0	61.0	55.00	8.485
17	2	3	2	1	3	1	2	3	60	67	66	73	5.32	4.950	4.950	4.950	63.5	69.5	66.50	4.243
18	2	3	3	2	1	2	3	1	57	65	79	83	12.11	5.657	2.828	4.472	61.0	81.0	71.00	14.142

Taguchi

43

Kiértékelés az átlagos vastagságra

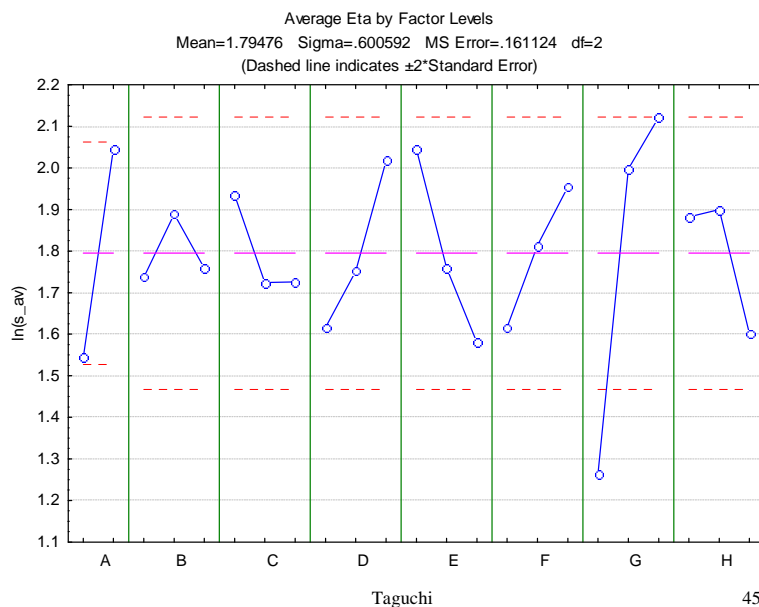


Taguchi

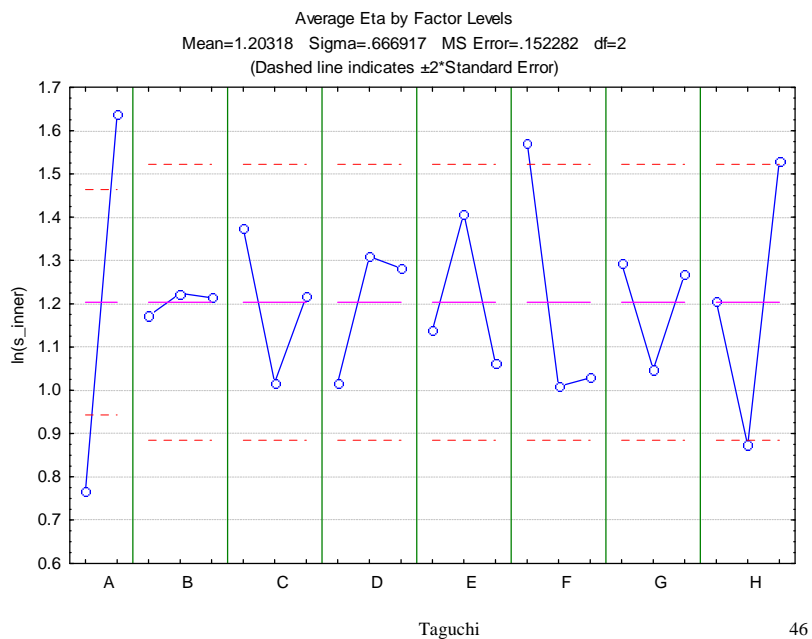
44

Minőségjavító kísérlettervezés

Kiértékelés a vastagság helyek közötti szórására



Kiértékelés a helyeken belüli ingadozásra



A minőségjavító kísérlettervezés célfüggvényei

Névleges a legjobb

$$E [L(y)] = k E[(y - T)^2] = k[\sigma^2 + (\mu - T)^2] = \min$$

Ha a variancia nem függ a várható értéktől, azt kell először minimalizálni, majd a várható értéket szerint optimálisan beállítani.

Ha $\sigma \sim \mu$, a variancia helyett a σ/μ arányt kell minimalizálni.

Reciproka a μ/σ ún. jel/zaj viszony (signal/noise: SN), illetve annak logaritmus (ún. decibel skála)

$$SN = -10 \lg \frac{s^2}{\bar{y}^2} = 10 \lg \frac{\bar{y}^2}{s^2}$$

Minél kisebb, annál jobb (Smaller the better) eset

$$E [L(y)] = k E[(y - T)^2] = k[\sigma^2 + (\mu - T)^2] = \min$$

itt $T=0$

$$E [L(y)] = k E[y^2] = k \{E[(y - \mu)^2] + \mu^2\} = k[\sigma^2 + \mu^2]$$

$$\bar{L}(y) = \frac{k}{n} \sum_i y_i^2 = k \left(\frac{n-1}{n} s^2 + \bar{y}^2 \right)$$

Taguchi:
$$SN_s = -10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_i y_i^2 \right] = \max$$

8. példa

G. Taguchi: Introduction to quality engineering

Asian Productivity Organization, 1986, p. 127

Szivattyú kopásának optimalizálása

Taguchi_p127.sta

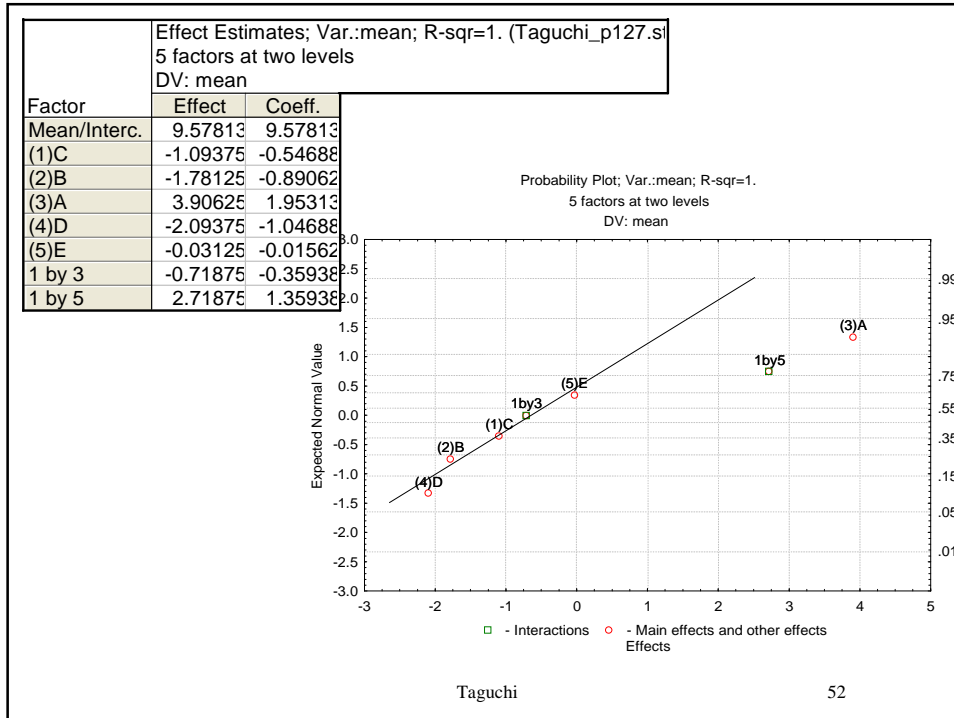
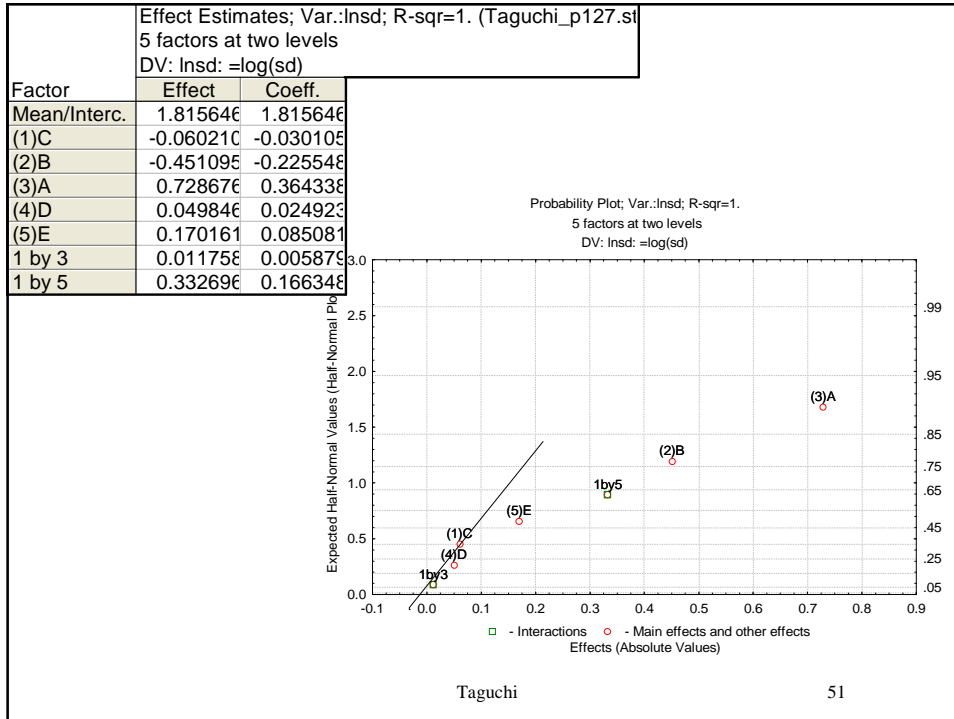
Kézbentartható faktorok: A-E 2 szinten

Zaj-faktor: a tengely 8 pontja

y: kopás [μm]

Standard Run	Design: 2**(3-0) design (Spreadsheet1)														mean	sd	lnsd
	A	B	C	D	E	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8				
1	-1	-1	-1	-1	-1	12	12	10	13	3	3	16	20	11.125	5.866065	1.769184	
2	-1	-1	1	1	1	6	10	3	5	3	4	20	18	8.625	6.802048	1.917224	
3	-1	1	-1	1	1	9	10	5	4	2	1	3	2	4.5	3.338092	1.205399	
4	-1	1	1	-1	-1	8	8	5	4	3	4	9	9	6.25	2.492847	0.913425	
5	1	-1	-1	-1	1	16	14	8	8	3	2	20	33	13	10.21204	2.323567	
6	1	-1	1	1	-1	18	26	4	2	3	3	7	10	9.125	8.626165	2.1548	
7	1	1	-1	1	-1	14	22	7	5	3	4	19	21	11.875	8.043409	2.084853	
8	1	1	1	-1	1	16	13	5	4	11	4	14	30	12.125	8.64271	2.156716	

Minőségjavító kísérlettervezés



Minél nagyobb, annál jobb (Larger the better) eset

Taguchi: $T=\infty$, vagyis $1/T=0$ az elérendő:

$$E[L(y)] = k E[(y - T)^2] = k[\sigma^2 + (\mu - T)^2] = \min$$

σ^2 és μ külön tanulmányozható

Taguchi:
$$SN_L = -10 \lg \left[\frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{y_i^2} \right]$$

A mutató igen érzékeny a kiugró értékekre!

A veszteségfüggvény alkalmazása diszkrét változókra

A mintában talált selejtes darabok aránya binomiális eloszlást követ .

$\frac{1}{1-p}$ darabot kell ahhoz gyártani, hogy 1 jó legyen




A veszteség: $L(p) = k \frac{p}{1-p}$ (logit vagy omega transzformáció)

ahol k az egy darab előállításának költsége

$$SN = -10 \lg \frac{p}{1-p}$$

$y = \arcsin \sqrt{p}$ is használható

Minőségjavító kísérlettervezés

eset	L	\bar{L}	SN (Taguchi)	javasolt
névleges a legjobb 	$k(y-T)^2$	$\frac{k}{n} \sum_i (y_i - T)^2 =$ $= k \sum_i \left[s^2 \frac{n-1}{n} + (\bar{y} - T)^2 \right]$	$-10 \lg s_y^2$ vagy $10 \lg \frac{\bar{y}^2}{s^2}$	$-10 \lg s_y^2$ (ha $\alpha=0$) $-10 \lg s_{\ln y}^2$ (ha $\alpha=1$)
minél kisebb, annál jobb 	ky^2	$\frac{k}{n} \sum_i y_i^2 = k \left(s^2 \frac{n-1}{n} + \bar{y}^2 \right)$	$-10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_i y_i^2 \right) \approx$ $\approx -10 \lg (s^2 + \bar{y}^2)$	
minél nagyobb, annál jobb 	$\frac{k}{y^2}$	$\frac{k}{n} \sum_i \frac{1}{y_i^2}$	$-10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_i \frac{1}{y_i^2} \right)$	
selejtarány	$k \frac{p}{1-p}$	$k \frac{\hat{p}}{1-\hat{p}}$	$-10 \lg \frac{\hat{p}}{1-\hat{p}}$	