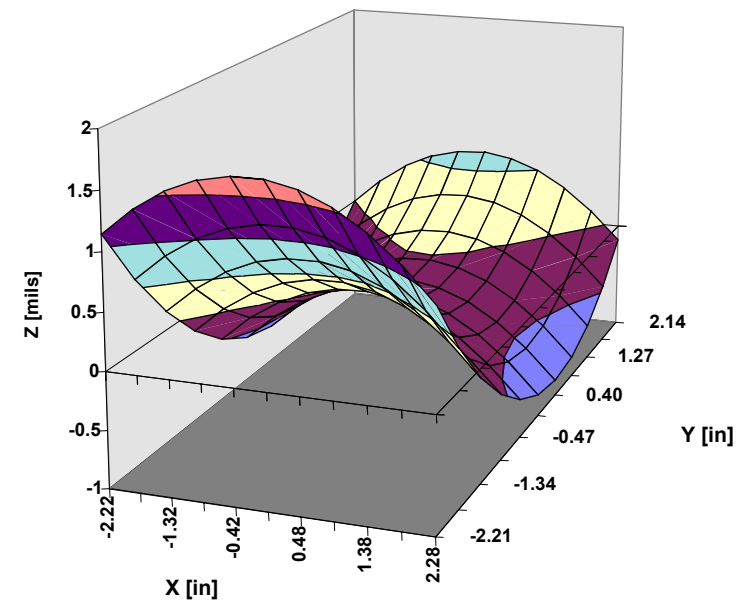


A DOE (design of experiment) mint a hat szigma folyamat eszköze



Dr. Nagy Attila, feketeöves
GE Consumer & Industrial
2004. május 4.

A DOE helye a hat szigmában

Define - probléma meghatározása, vevő igénye

Measure - projekt Y rögzítése, GR&R

Analyse - baseline, benchmark, mik a lehetséges X-ek, történelmi adatok feldolgozása

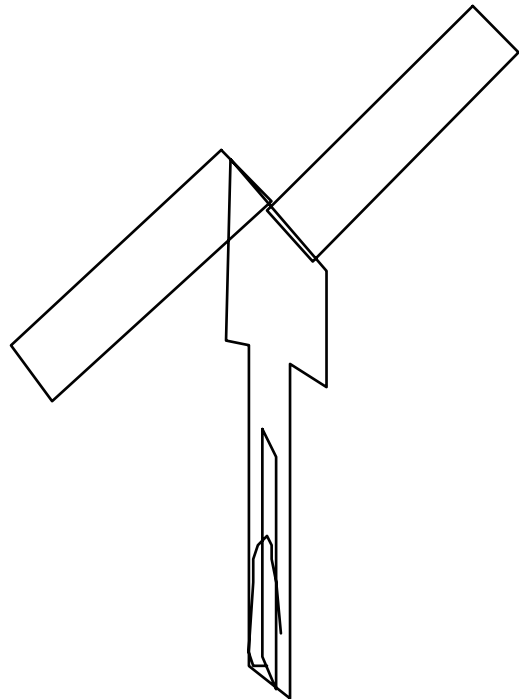
Improve - transzfer függvény keresés $Y=f(X_1, X_2..)$
DOE (kísérlettervezés) segítségével

Control - javítások hosszútávú rögzítése, SPC

Hagyományos kísérletezési stratégia

A “helikopter project”

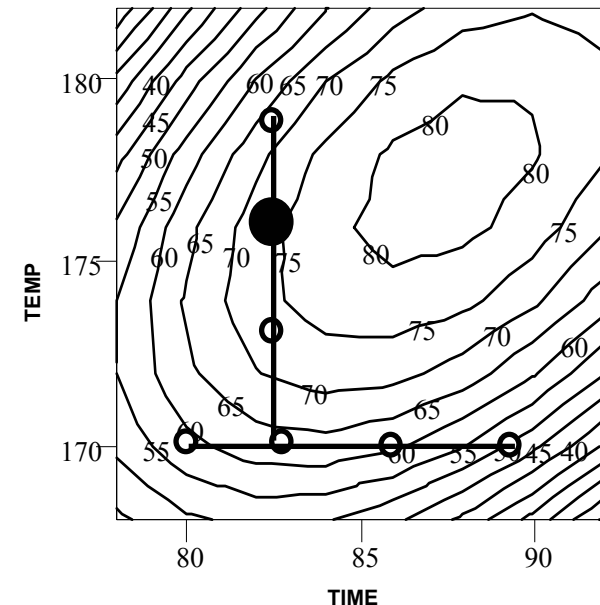
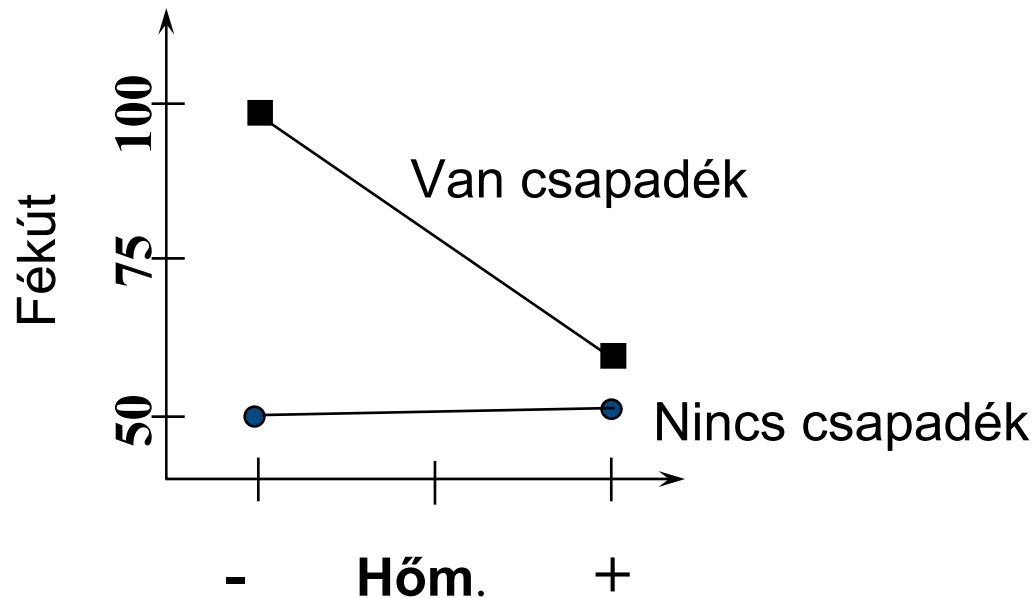
(Részlet a GE oktatási anyagából)



Faktor	-	+
Papírtípus	sárga	fehér
Gemkapocs	nem	igen
Szigszalag a testen	nem	igen
Szigszalag fent	nem	igen
Test szélesség	3.5 cm	5 cm
Test hossz	7.5 cm	12 cm
Szárny hossz	7.5 cm	12 cm

RUN	PT	GK	Sz1	Sz2	Tszél	Th	Szh	t [sec]
1	-	-	-	-	-	-	-	2.1
2	+	-	-	-	-	-	-	2.6
3	+	+	-	-	-	-	-	2.4
4	+	-	+	-	-	-	-	2.5
5	+	-	-	+	-	-	-	2.8
6	+	-	-	+	+	-	-	2.9
7	+	-	-	+	+	+	-	2.7
8	+	-	-	+	+	-	+	3.2

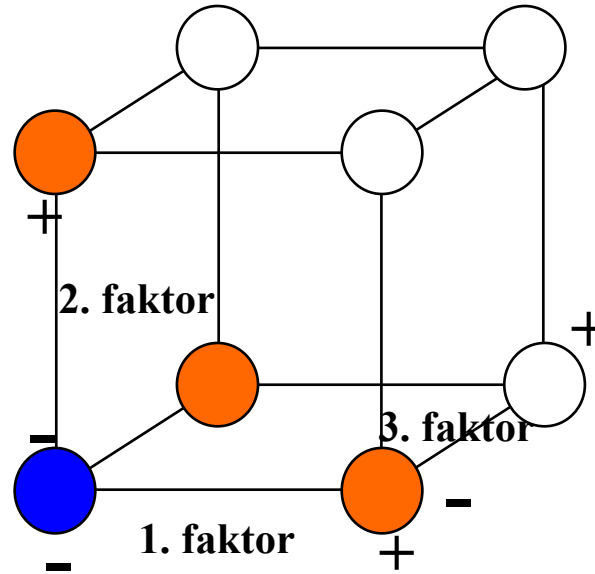
A hagyományos stratégia buktatói



- A kereszthatások rejtve maradnak
- Páronkénti összehasonlítás → nincs statisztika

A teljes faktoros terv

RUN	PT	Tsz	Th
1	sárga	3.5 cm	7.5 cm
2	fehér	3.5 cm	7.5 cm
3	sárga	5 cm	7.5 cm
4	fehér	5 cm	7.5 cm
5	sárga	3.5 cm	12 cm
6	fehér	3.5 cm	12 cm
7	sárga	5 cm	12 cm
8	fehér	5 cm	12 cm



RUN	X1	X2	X3	X4
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

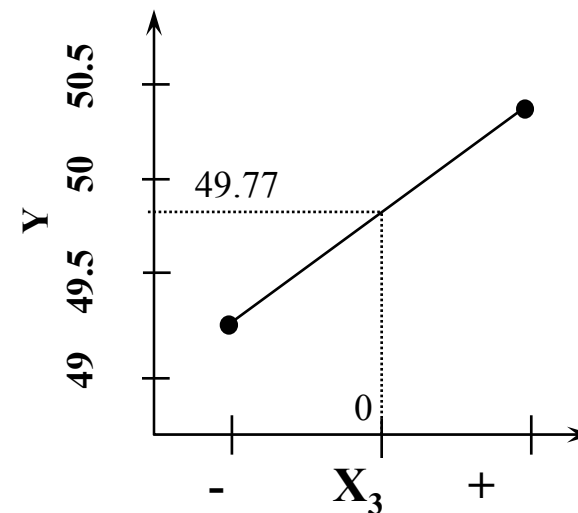
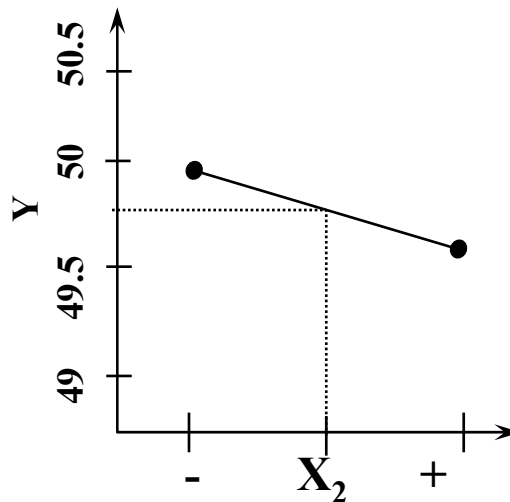
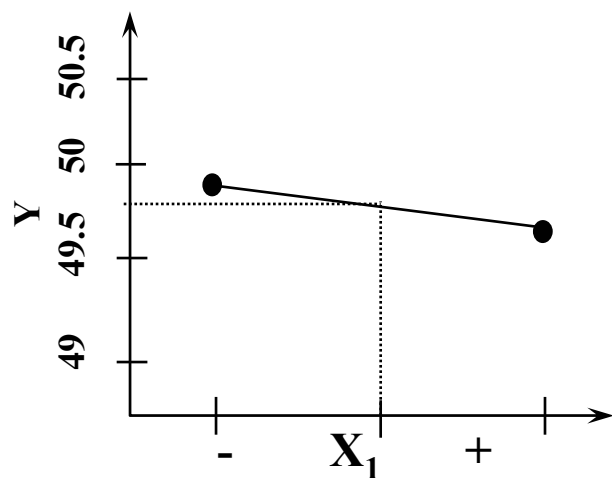
Az összes kombinációt megvalósítjuk.
 A beállítások kifeszítik a design teret.
 Könnyen bővíthető több faktorra.
 Beállítások száma n faktor esetén 2^n .

Főhatások

RUN	X1	X2	X3	Y
1	-	-	-	50.10
2	+	-	-	49.25
3	-	+	-	49.17
4	+	+	-	48.67
5	-	-	+	50.42
6	+	-	+	50.25
7	-	+	+	49.92
8	+	+	+	50.42

$\left. \begin{matrix} \text{Átlag} = \\ = 49.30 \end{matrix} \right\}$
 $\left. \begin{matrix} \text{Átlag} = \\ = 50.25 \end{matrix} \right\}$
 $\left. \begin{matrix} \text{Átlag} = 49.77 \end{matrix} \right\}$

Az X_3 faktor hatása:
 $50.25 - 49.30 = 0.95$



Kereszthatások

RUN	X1	X2	X3	X1*X2	X1*X3	X2*X3	Y
1	-	-	-	+	+	+	50.10
2	+	-	-	-	-	+	49.25
3	-	+	-	-	+	-	49.17
4	+	+	-	+	-	-	48.67
5	-	-	+	+	-	-	50.42
6	+	-	+	-	+	-	50.25
7	-	+	+	-	-	+	49.92
8	+	+	+	+	+	+	50.42

Átlag =
= 49.63

Átlag =
= 49.92

Az $X_2 * X_3$
kereszthatás:

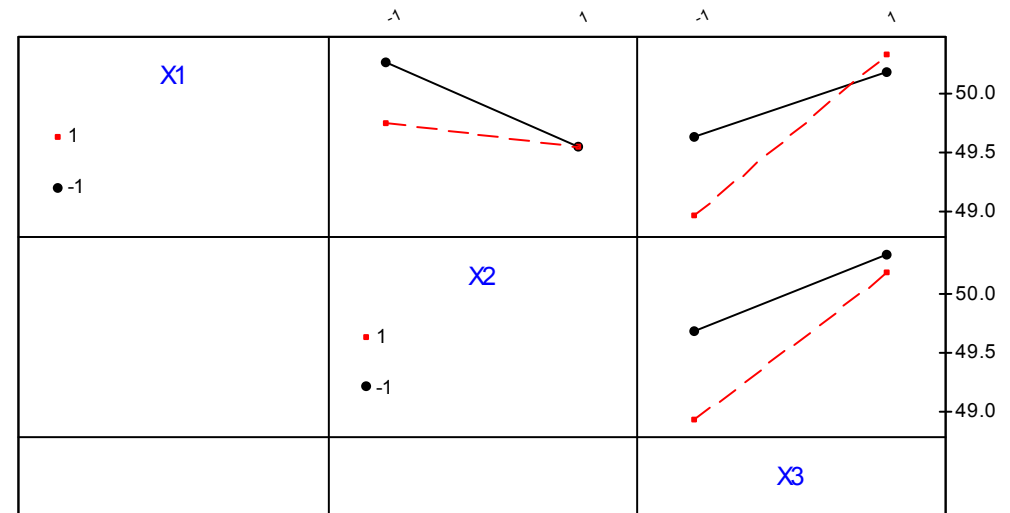
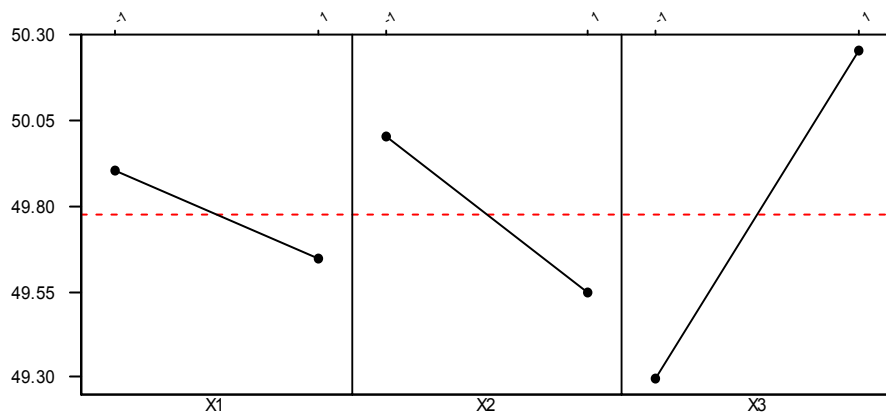
49.92-
49.63=0.29

A transzfer függvény:

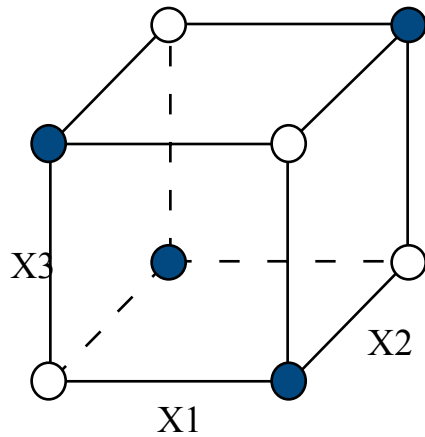
$$Y = 49.77 - 0.13 * X_1 - 0.23 * X_2 + 0.47 * X_3 + 0.13 * X_1 * X_2 + 0.21 * X_1 * X_3 + 0.15 * X_2 * X_3$$

Kiértékelés a Minitab szoftverrel

Term	Effect	Coef	StDev	Coef	T	P
Constant		49.7750	0.04000	1244.37	0.001	
X1	-0.2550	-0.1275	0.04000	-3.19	0.194	
X2	-0.4600	-0.2300	0.04000	-5.75	0.110	
X3	0.9550	0.4775	0.04000	11.94	0.053	
X1*X2	0.2550	0.1275	0.04000	3.19	0.194	
X1*X3	0.4200	0.2100	0.04000	5.25	0.120	
X2*X3	0.2950	0.1475	0.04000	3.69	0.169	



A kísérletek számának csökkentése: részfaktoros tervek



RUN	X1	X2	X3	X4=X1*X2*X3	X1*X2	X3*X4
1	-	-	-	-	+	+
2	+	-	-	+	-	-
3	-	+	-	+	-	-
4	+	+	-	-	+	+
5	-	-	+	+	+	+
6	+	-	+	-	-	-
7	-	+	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+	+

- Fele annyi kísérletet kell elvégezni
- A beállítások továbbra is jól kifeszítik a teret
- Ha bármelyik X nem szignifikáns, a többire teljes faktoros
- **Bizonyos keresztthatások keverednek**

Plackett-Burman vagy Taguchi tervek

	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	<u>E</u>	<u>F</u>	<u>G</u>	<u>H</u>	<u>I</u>	<u>J</u>	<u>K</u>
1	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-
2	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+
3	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-
4	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-
5	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-
6	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+
7	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+
8	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+
9	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-
10	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+
11	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- Beállítások száma 4 egész számú többszöröse
- L 12: nagyon jó szűrőkísérlet max. 11 faktor vizsgálatára

Robust design

				N1	-	+	-	+		
				N2	-	-	+	+		
RUN	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	Y4	Átlag	STD	
1	-	-	-	11	6	19	19	13.8	6.4	
2	+	-	-	9	9	17	9	11.0	4.0	
3	-	+	-	2	6	4	7	4.8	2.2	
4	+	+	-	3	1	11	6	5.3	4.3	
5	-	-	+	6	5	4	8	5.8	1.7	
6	+	-	+	3	12	9	6	7.5	3.9	
7	-	+	+	3	2	2	1	2.0	0.8	
8	+	+	+	2	1	2	2	1.8	0.5	

Keressünk olyan beállítást X-re, ahol Y nem érzékeny az N zajra!

Taguchi filozófia: jel/zaj viszony

$$SN_T = 10 \log \left(\frac{\overline{y^2}}{S^2} \right) \quad SN_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad SN_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

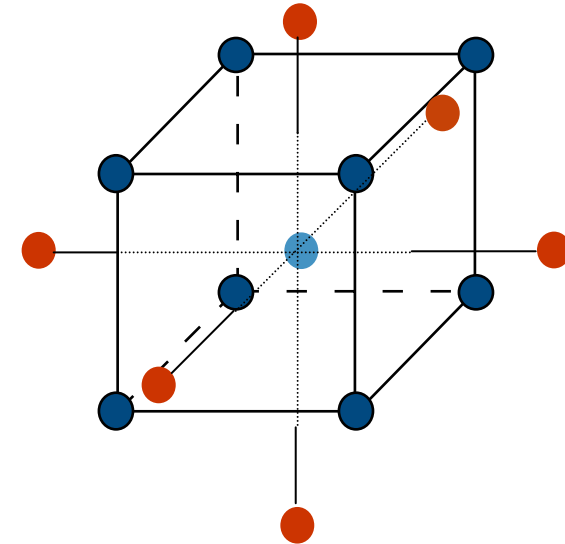
Háromszintes tervek

A transzfer függvényt ellenőrizni kell új pontokban

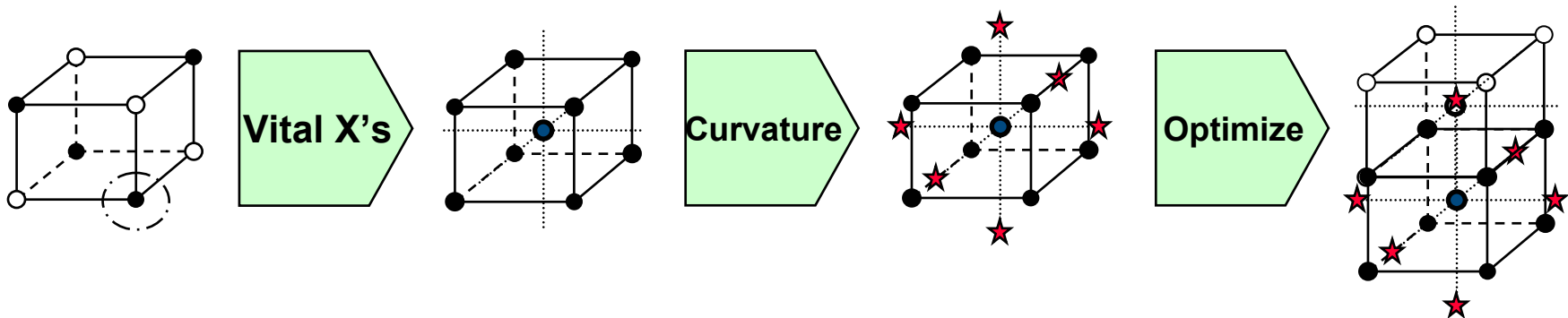
Centrumpont: lineáris a TF?

Csillagpontok: kvadratikusan tagok

Central Composit Design 2^n+1+2n



Szekvenciális kísérletezés



Természettudomány és DOE

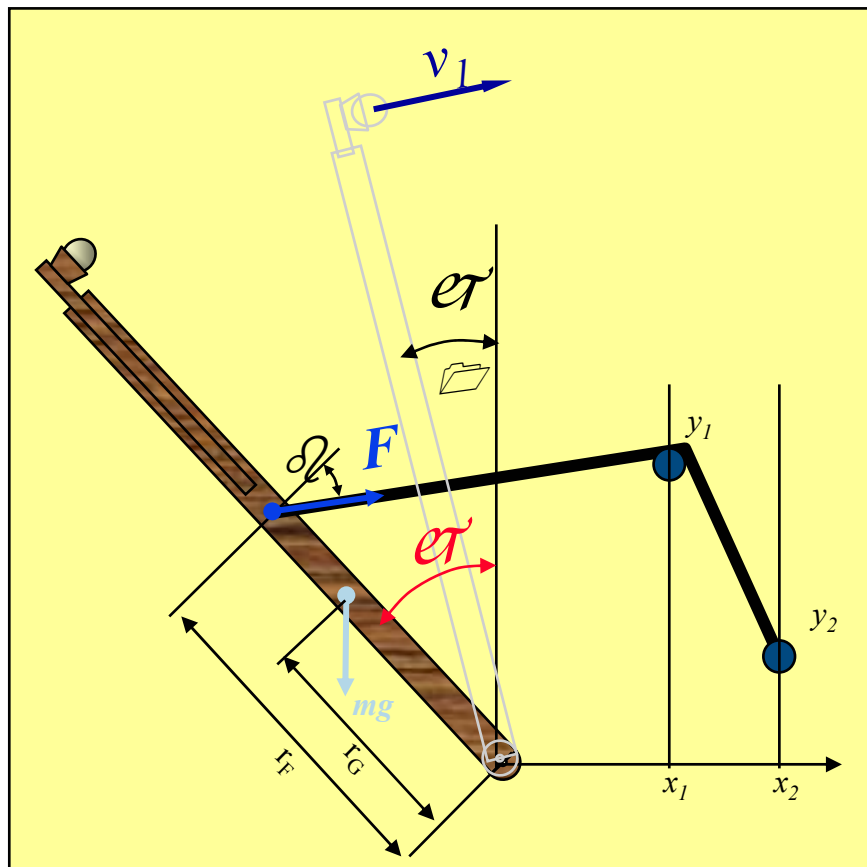


Cél (Y):
repülési
távolság

Kérdés (X-ek):
hogyan kell
beállítani a
katapultot

Mechanika
alapján
elméletileg ki
lehet számítani!

(Részlet a GE
oktatási
anyagából)



$$Y = f(\varphi_1, \varphi_2, \theta, D, \dots)$$

Paraméterek:

- Tehetetlenségi nyomaték (Θ)
- Rugóállandó (D)

“Zajok”:

- Surlódások
- Labda tapadás
- Elaszticitás
- Légellenállás

További mérések szükségesek

Új, alapvető összefüggések felismerése -
természettudomány

Technológia optimalizálása, “finomhangolása” - DOE

Számítástechnika és DOE

Műszaki számítások

(finite elements, ray tracing, iteration)



Nincs zárt, explicit transzfer függvény

Optimum megkereséséhez a DOE kiválóan alkalmas

Összefoglalás

- A DOE a hatékony kísérletezés eszköze - a lehető legkevesebb mérésből a lehető legtöbb információ
- Transzfer függvény az átlagra és a szórásra
- Meghatározható, hogy egy hatás véletlen vagy szignifikáns
- Ismereteink bővülésével fejlődő szekvenciális folyamat - szűrőkísérletek, modellező DOE, háromszintes bővítés lehetősége
- Használata nem korlátozódik a tényleges (fizikai) kísérletekre
- Hatékony a finomhangolásban, alkalmatlan felfedezésekre