

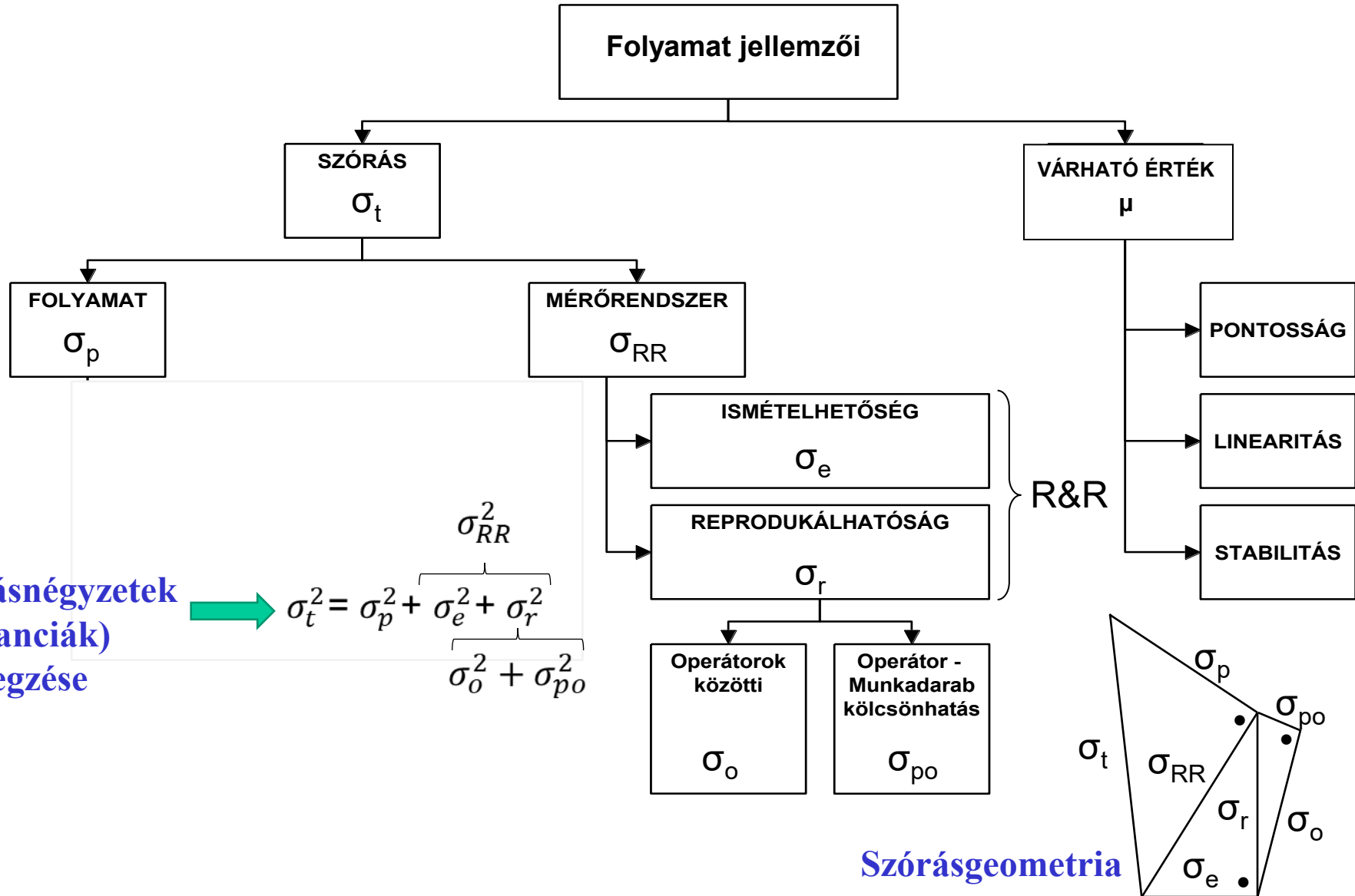
Kiterjesztett mérőrendszer értékelése

SigmaXL szoftverrel

Előadó: Lakat Károly

Hat Sigma, Lean és Statisztikai Módszerek Szakbizottság ülés
2026 június 3.

Folyamat jellemzői

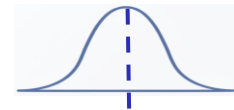
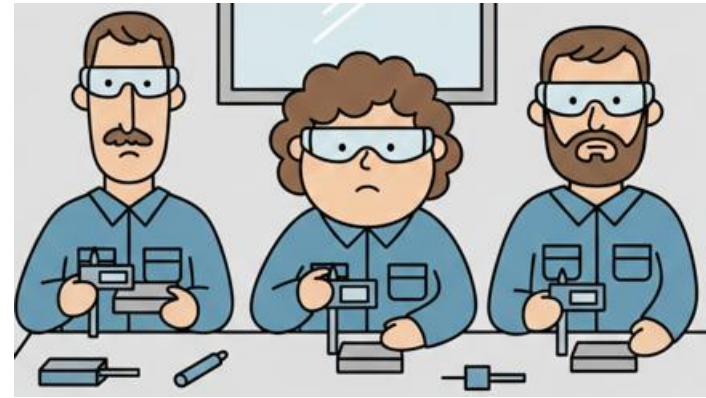


Ismételhetőség és Reprodukálhatóság



σ_e

R&R



σ_o

Ismételhetőség (Repeatability)

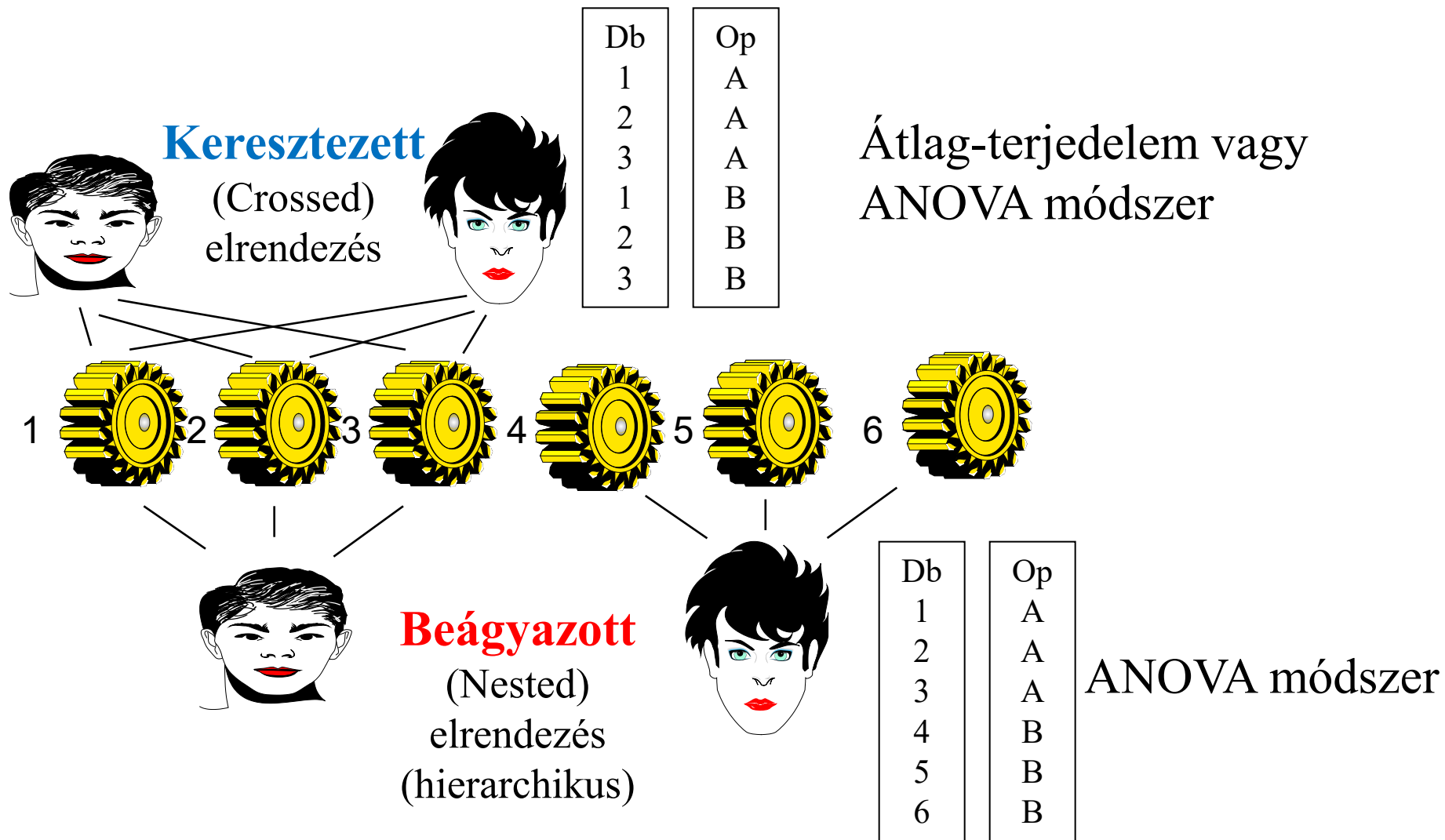
- ugyanazt a munkadarabot,
- ugyanaz az ellenőr,
- ugyanazzal a mérőeszközzel,
- rövid időn belül,
- többször is megméri.

Reprodukálhatóság (Reproducibility)

- különböző mérőszemélyek,
- ugyanazzal a mérőeszközzel,
- azonos módszerrel,
- véletlen sorrendben,
- ugyanazt a munkadarabot többször mérik.

$$F = \frac{\sigma_o^2}{\sigma_e^2}$$

Mérések elrendezése

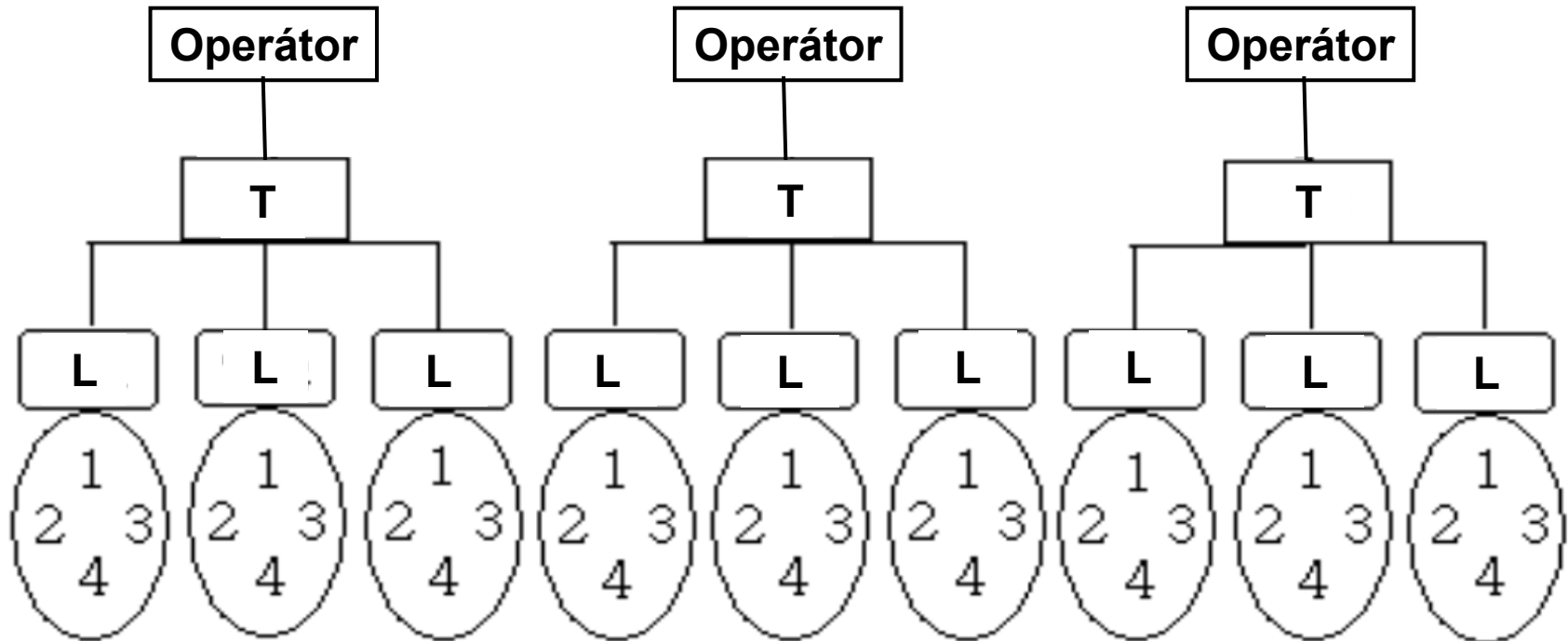


ANOVA (Analysis of Varince) - Varianciaanalízis

Kiterjesztett mérőrendszer vizsgálat

Gage R&R Study (Expanded)

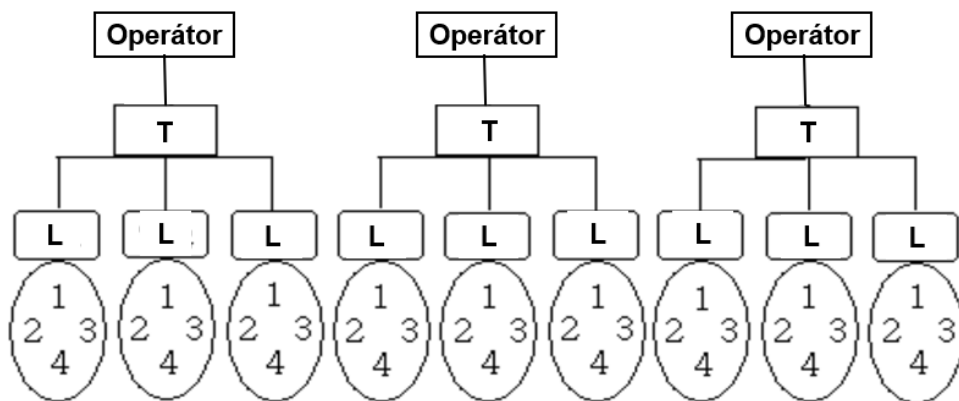
Félvezető gyártása során három **Operátor** méréseket végzett. Mindegyik Operátor a gyártásból kivett egy **Tételt**, melyből elkülönített három Lapkát, és mindegyik **Lapka** vastagságát négy **Helyen** megmérte. A mérési folyamatot egyszer megismételték. Összesen $3 \times 3 \times 3 \times 4 \times 2 = 216$ mérést végeztek.



- Lapkák a Tételekhez tartoznak, az-az beágyazottak: Lapka(Tétel)
- A négy mérési Hely a Lapkába beágyazott: Hely(Lapka)

Mérések száma a kiegyensúlyozott vizsgálat celláiban

Vizsgálati elrendezés



Sorok: Operátor/Tétel						Oszlopok: Lapka/Hely									
						1			2			3			All
						1	2	3	4	1	2	3	4	All	
1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
All	All	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	216	

Minden faktorszintkombináció beállítás esetén a mérések száma megegyezik.

Adatok és Modellállítás

SigmaXL

	A	B	C	D	E
1	Tétel	Lapka	Hely	Operator	Vastagság
2	1	1	1	1	3594
3	1	1	1	1	3595
4	1	1	2	1	3595
5	1	1	2	1	3595
6	1	1	3	1	3591
7	1	1	3	1	3590
8	1	1	4	1	3589
9	1	1	4	1	3590
10	1	2	1	1	3600
11	1	2	1	1	3600
12	1	2	2	1	3603
13	1	2	2	1	3602
14	1	2	3	1	3599
15	1	2	3	1	3598
16	1	2	4	1	3597

STB

GLM Specify Model Terms

Available Model Terms

Tétel
Lapka(Tétel)
Hely(Lapka(Tétel))
Operator
Tétel*Operator
Lapka(Tétel)*Operator
Hely(Lapka(Tétel))*Operator

Term Generator

ME + 2-Way Interactions

Általános lineáris modell (GLM):

X_1 – Minta

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3(X_1 \cdot X_2) + e$$

X_2 – Operátor

Varianciák és Szórások I.

Variancia komponensek

Variance Components		
Source	Variance	Var % of Total
Tétel	51,7804784	61,24%
Lapka(Tétel)	21,87663966	25,87%
Hely(Lapka(Tétel))	10,05015432	11,89%
Operator	0,034047068	0,04%
Tétel*Operator	0,00154321	0,00%
Lapka(Tétel)*Operator	0,009162809	0,01%
Hely(Lapka(Tétel))*Operator	0,003858025	0,00%
Error	0,796296296	0,94%
Total	84,55217978	= 100%

Mérőrendszer
R&R
(σ_{RR}^2)

part-to-part (σ_p^2)

reprodukálhatóság (σ_r^2)

← ismételhetőség (σ_e^2)

Szórás komponensek

StDev Components		
Source	StDev	StDev % of Total
Tétel	7,195865368	78,26%
Lapka(Tétel)	4,677247017	50,87%
Hely(Lapka(Tétel))	3,170197836	34,48%
Operator	0,184518476	2,01%
Tétel*Operator	0,03928371	0,43%
Lapka(Tétel)*Operator	0,095722561	1,04%
Hely(Lapka(Tétel))*Operator	0,062112999	0,68%
Error	0,892354356	9,70%
Total	9,195225923	≠ 100%

$$\sigma_t^2 = \sigma_p^2 + \underbrace{\sigma_e^2 + \sigma_r^2}_{\sigma_o^2 + \sigma_{po}^2}$$

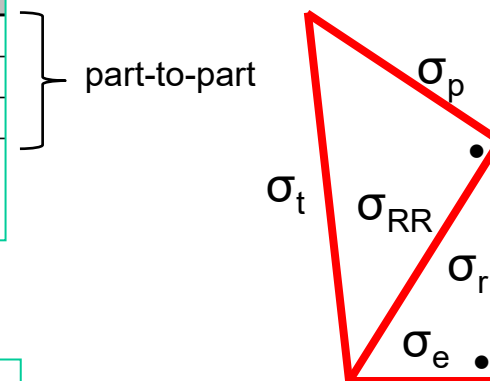
Ismételhetőség (Error StDev), $\sigma_e = 0,892354356$

SigmaXL

Varianciák és Szórások II.

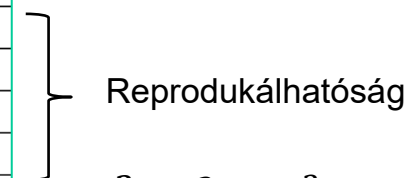
Minta variancia komponensek

Variance Components		
Source	Variance	Var % of Total
Tétel	51,7804784	61,24%
Lapka(Tétel)	21,87663966	25,87%
Hely(Lapka(Tétel))	10,05015432	11,89%
Összesen:	83,70727238	99,00 %
Szórás (part-to-part, σ_p):	9,149167852	



Operátor szórás komponensek

Source	Variance	Var % of Total
Operator	0,034047068	0,04%
Tétel*Operator	0,00154321	0,00%
Lapka(Tétel)*Operator	0,009162809	0,01%
Hely(Lapka(Tétel))*Operator	0,003858025	0,00%
Összesen:	0,048611111	0,05 %
Szórás (reprodukálhatóság, σ_r):	0,220479276	



$$\sigma_t^2 = \sigma_{RR}^2 + \sigma_p^2 = 84,55217979$$

$$\sigma_t = 9,195225924$$

Error variancia, $\sigma_e^2 = 0,796296296$

$$\sigma_{RR}^2 = \sigma_e^2 + \sigma_r^2 = 0,844907407$$

Ismételhetőség (Error StDev), $\sigma_e = 0,892354356$

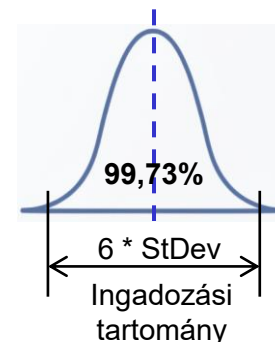
GageR&R, $\sigma_{RR} = 0,91918845$

SigmaXL

Mérőrendszer értékelése

Mérőrendszer szórás-komponensei

Gage R&R Metrics	StDev	6 * StDev
Gage R&R:	0,91918845	5,515130703
Reproducibility (AV Appraiser Variation):	0,220479276	1,322875656
Repeatability (EV Equipment Variation):	0,892354356	5,354126135
Part Variation (PV):	9,149167852	54,89500711
Total Variation (TV):	9,195225923	55,17135554



Mérőrendszer értékelése (Gage R&R)

Tűrésmező szélessége T=100 mikron. Tapasztalat alapján a gyártási folyamat szórása S=10 mikron.

$$\% \text{Gage R\&R} = \text{Gage R\&R} / \text{TV} = 5,52 / 55,17 = \mathbf{10,00\%}$$

$$\% \text{Tolerance} = \text{Gage R\&R} / T = 5,52 / 100 = \mathbf{5,52\%}$$

$$\% \text{Process} = \text{Gage R\&R} / 6 * S = 5,52 / (6 * 10) = \mathbf{9,19\%}$$

AIAG (Automotive Industry Action Group) szerint

- százalék értékek < 10 % OK,
- 10 – 30 % feltételesen OK

Gage R&R Metrics	% Total Variation (TV)	% Tolerance	% Process (Historical StDev)
Gage R&R:	10,00%	5,52%	9,19%
Reproducibility (AV Appraiser Variation):	2,40%	1,32%	2,20%
Repeatability (EV Equipment Variation):	9,70%	5,35%	8,92%
Part Variation (PV):	99,50%	54,90%	91,49%
Total Variation (TV):	100,00%	55,17%	91,95%

Megkülönböztethető kategóriák száma
(Number of Distinguishable Categories, NDC)



$$\text{NDC} = \sqrt{2} \frac{\sigma_p}{\sigma_{RR}} \approx \mathbf{14} \quad \text{AIAG javaslat } > 5 \text{ OK}$$

Mérési variancia komponensei

Gage R&R Metrics	Variance Component	% Contribution of Variance Component
Gage R&R:	0,844907407	1,00%
Reproducibility:	0,048611111	0,06%
Repeatability:	0,796296296	0,94%
Part Variation:	83,70727238	99,00%
Total Variation:	84,55217978	100,00%

A mért variancia felépítéséhez a hozzájárulások:

- Mérőrendszer (Gage R&R) 1,00 %
- Reprodukálhatóság (Operátorok) 0,06 %
- Ismételhetőség (Véletlen – Error) 0,94 %
- Mintadarabok közötti változékonyság 99,00 %

Összesen: 100,00 %

AIAG ajánlásából következtethető, ha

- Gage R&R % < 1% akkor OK
- Gage R&R % 1 – 9 %, akkor feltételesen OK

SigmaXL

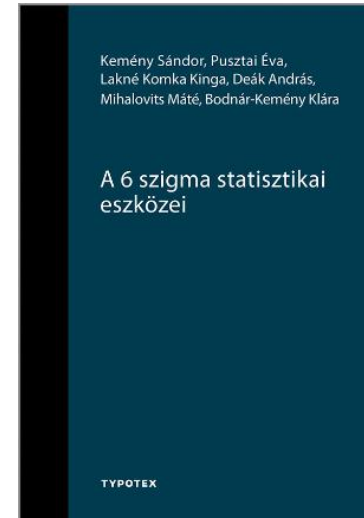
IRODALOM

➤ A 6 szigma statisztikai eszközei

Kemény Sándor – Pusztai Éva – Lakné Komka Kinga –
Deák András – Mihalovits Máté – Bodnár-Kemény Klára

ISBN 978 963 493 123 2

Kiadó: **Typotex**, Budapest, 2021.



A 6 szigma
statisztikai
eszközei

➤ Kísérletek tervezése és értékelése

Kemény Sándor – Deák András –
Lakné Komka Kinga – Kunovszki
Péter

ISBN 978 963 279 956 8

Kiadó: **Typotex**, Budapest, 2017.



Kiegészítő
könyv
Digitális példával



Előadás összefoglalója

Az előadás bevezetéseképpen elhangzott, hogy a méréses mérőrendszer elemzése során választ kell kapni arra a kérdésre, vajon egy mérőrendszer képes-e megbízhatóan különbséget tenni a gyártott termékek között, ha a méréseket különböző operátorok végzik? Az előadó bemutatta, hogy statisztikai szempontból a klasszikus elemzés egy kétfaktoros varianciaanalízisnek (ANOVA) felel meg, ahol a két fő bemenő faktor a mintadarab és az operátor.

Ezek után az előadás egy kiterjesztett (expanded), négyfaktoros mérőrendszer-elemzést mutatott be egy keresztezett, kiegyensúlyozott, beágyazott mérési elrendezésű félvezető-gyártási eseten keresztül. A statisztikai elemzés a SigmaXL szoftverrel készült, mely Excel bővítmény.

Végsősoron az ANOVA-alapú kiterjesztett elemzés igazolta, hogy a vizsgált mérőrendszer teljes mértékben megfelel az autóipari (AIAG) követelményeknek és megbízhatóan alkalmazható a gyártásközi ellenőrzésre.