

Óbuda Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet



Termelési folyamatok II.

Költségbecslés

Dr. Mikó Balázs
miko.balazs@bgk.uni-obuda.hu

Az idő- és költségbecslés feladata

Meghatározni a gyártás várható időszükségletét és költség igényét.



2

A költségbecslés szerepe

- Önköltségszámítás árajánlat adáshoz
- Gyártási költségek kontrollálása
- Beszállítók árajánlatainak ellenőrzése
- „Venni vagy gyártani” döntés támogatása
- Tervezési alternatívák értékelése
- Anyagszükséglet tervezés
- Gyártás ütemezés



A költségbecslés problémája

Befektetett munka



Pontosság

Probléma:

- Nem ismerjük a gyártási folyamat részleteit.
- Rövid idő áll rendelkezésre.

4

Költségbecslési módszerek



- Intuitív
- Analóg
- Parametrikus
- Analitikus
- MI alapú

5

Intuitív módszer

Intuícióra, tapasztalatra épít

- Nagy gyakorlat szükséges
- Részletesen ismerni kell a környezetet
- Pontatlan lehet
- Nem átlátható



6

Analóg módszer

Összehasonlítás korábbi termékekkel

- Nagy adatbázis
- Hatékony keresés szükséges
- Statikus környezet
- Adaptálás



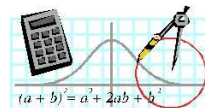
7

Parametrikus módszer



- Egyszerű függvénykapcsolat a néhány termék-paraméter és a költség között
- Általában tömeg vagy befoglaló méret

- Egyszerű
- Gyors
- Csak durva becslésre



$$Pl.: K = C_0 + C_1 \cdot m + C_2 \cdot m^3$$

8

Analitikus módszer



A feladat részletes dekomponálása, részszámítások összegzése

- Részletes gyártási koncepció
- Az egyes elemek pontosabban becsülhetők

- Pontos ($\pm 5\%$)
- Időigényes



9

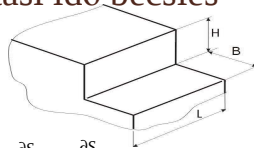
Költségbecslési módszerek

módszer	előny	hátrány
intuitív	- gyors - egyszerű alkalmazni	- szakember igényes - pontatlan - nem átlátható
analóg	- figyelembe veszi a konkrét környezetet	- időigényes - nagy adatbázist igényel
parametrikus	- egyszerű - gyors	- pontatlan - heurisztikus
analitikus	- pontos	- időigényes - szakember igényes - túl részletes

10

Parametrikus gyártási idő becslés

$$t_{est} = C \cdot B^{X_B} \cdot H^{X_H} \cdot L^{X_L}$$



Legkisebb négyzetek módszere

$$S = \sum_{i=1}^n (t_i - C \cdot L_i^{X_L} \cdot B_i^{X_B} \cdot H_i^{X_H})^2 \rightarrow \min$$

$$\frac{\partial S}{\partial C} = 0 \quad \frac{\partial S}{\partial X_L} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial X_B} = 0 \quad \frac{\partial S}{\partial X_H} = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial C} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n (-t_i \cdot L_i^{X_L} \cdot B_i^{X_B} \cdot H_i^{X_H} + C \cdot L_i^{2X_L} \cdot B_i^{2X_B} \cdot H_i^{2X_H}) = 0$$

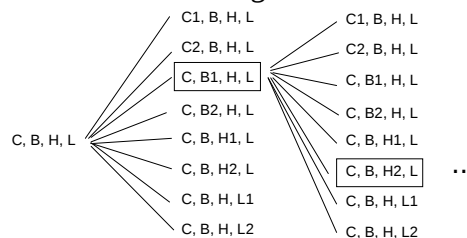
$$\frac{\partial S}{\partial X_L} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n (-t_i \cdot C \cdot L_i^{X_L-1} \cdot B_i^{X_B} \cdot H_i^{X_H} \cdot \ln L_i + C^2 \cdot L_i^{2X_L-1} \cdot B_i^{2X_B} \cdot H_i^{2X_H} \cdot \ln L_i) = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial X_B} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n (-t_i \cdot C \cdot L_i^{X_L} \cdot B_i^{X_B-1} \cdot H_i^{X_H} \cdot \ln B_i + C^2 \cdot L_i^{2X_L} \cdot B_i^{2X_B-1} \cdot H_i^{2X_H} \cdot \ln B_i) = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial X_H} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n (-t_i \cdot C \cdot L_i^{X_L} \cdot B_i^{X_B} \cdot H_i^{X_H-1} \cdot \ln H_i + C^2 \cdot L_i^{2X_L} \cdot B_i^{2X_B} \cdot H_i^{2X_H-1} \cdot \ln H_i) = 0$$

11

Numerikus kereső algoritmus



Változás

Hiba

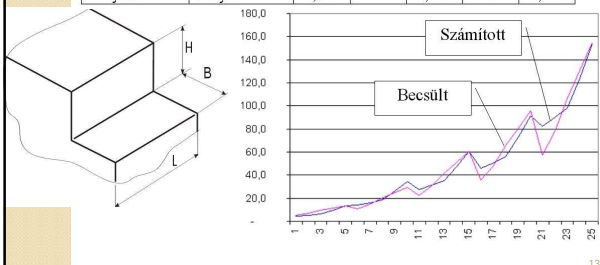
$$\Delta = 0.01 + \frac{\text{Random}(100)}{100 \cdot m}$$

$$D_i = \frac{\sum_j |t - t_{i,j}|}{j}$$

12

Eredmények

Alaksajátosság	Megmunkálás	C	XB	XD	XH	XL
Lépcső	Nagyol	0,160	0,430	-	0,690	0,600
	Símit	0,310	0,350	-	0,000	0,590
Horony	Nagyol	1,120	-0,255	-	0,790	0,900
	Símit	1,720	-0,360	-	0,000	0,950
Furat	Fúr	0,120	-	0,600	-	0,650
	Dörzsöl	0,171	-	1,388	-	0,660
Süllyesztés	Süllyeszt	0,080	-	1,100	-	0,550

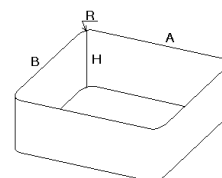


13

Zseb nagyoló marása



A – Hossz
B – Szélesség
H – Mélység
R – Rádusz

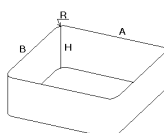


14

Adatbázis

2028 eset:

A: 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 250,
B: 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 400
R: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 5
H: 1, 3, 5, 10, 15, 20

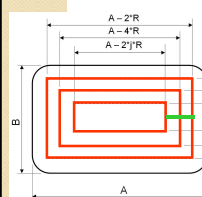


A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
13	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
14	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
15	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
16	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
17	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
18	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
19	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
20	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
21	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
22	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
23	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
24	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
25	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
26	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
27	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
28	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
29	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
30	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
31	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
32	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
33	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
34	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
35	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
36	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
37	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
38	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
39	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60
40	40	40	40	12,5	1	25	1	1,5	100	1074	51	0,11	1089,47	60	60	60

15

15

Szerszámút hossza



$$L_1 = 2 \cdot [(A-D) + (B-D)] = 2 \cdot A + 2 \cdot B - 4 \cdot D$$

$$L_2 = 2 \cdot [(A-2 \cdot D) + (B-2 \cdot D)] = 2 \cdot A + 2 \cdot B - 8 \cdot D$$

$$L_3 = 2 \cdot [(A-3 \cdot D) + (B-3 \cdot D)] = 2 \cdot A + 2 \cdot B - 12 \cdot D$$

$$L_J = 2 \cdot [(A-J \cdot D) + (B-J \cdot D)] = 2 \cdot A + 2 \cdot B - 4 \cdot J \cdot D$$

Ciklusszám egy szinten:

$$J = \text{int} \left[\frac{\min(A, B) - D}{D} \right]$$

Szerszámút hossza:

$$L_1 = J \cdot (2 \cdot A + 2 \cdot B) - 2 \cdot J \cdot (J+1) \cdot D \quad (D=2 \cdot R)$$

Összekötő s fogásvételi mozgás hossza:

$$L_2 = 2 \cdot [(\max(A, B) - D) - (\max(A, B) - J \cdot D)] = 2 \cdot D \cdot (J-1)$$

16

16

Megmunkálási idő

Fogás szám:

$$I = \text{int} \left[\frac{H}{a_p} \right] + 1$$

Megmunkálási idő:

$$t = \frac{L}{v_f} = \frac{I \cdot (L_1 + L_2)}{v_f} = \frac{I \cdot (J \cdot (2 \cdot A + 2 \cdot B) - 2 \cdot J \cdot (J+1) \cdot D + 2 \cdot D \cdot (J-1))}{v_f}$$

Eltolási sebesség

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n$$

Fordulatszám

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{D \cdot \pi}$$

17

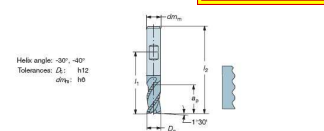
17

Szerszám

Roughing end mill
Kordell
Hardness <28HRC



SANDVIK
Coromant

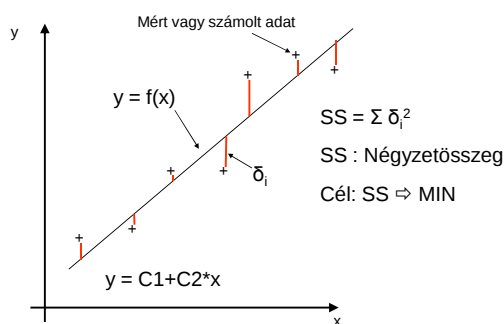


Ordering code		Front type, Zr		Dimensions, mm		Helix da		Max ap	
D _h	mm	mm	mm	A	mm	mm	mm	mm	mm
6	R216.33-06030-B807K	3	6	36	54	35.50	7.0	0	0
8	R216.33-08030-B809K	3	8	40	58	45.00	9.0	0	0
10	R216.33-10030-B811K	3	10	46	66	56.00	11.0	0	0
12	R216.33-12030-B812K	3	12	50.5	73	71.00	12.0	0	0
14	R216.33-14030-B814K	3	14	52.5	75	80.00	14.0	0	0
16	R216.33-16030-B816K	3	16	58	82	90.00	16.0	0	0
20	R216.33-20030-B820K	3	20	67	92	112.00	20.0	0	0

18

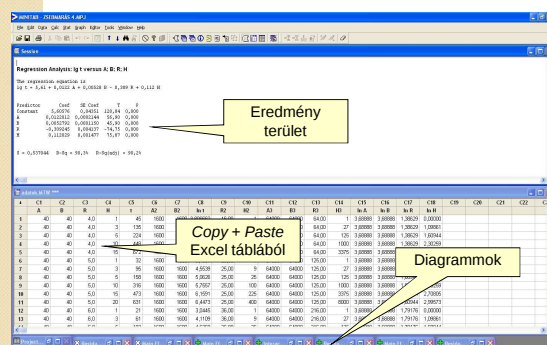
18

Regresszió



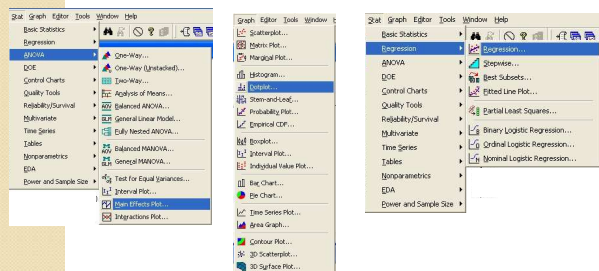
19

MiniTab v14



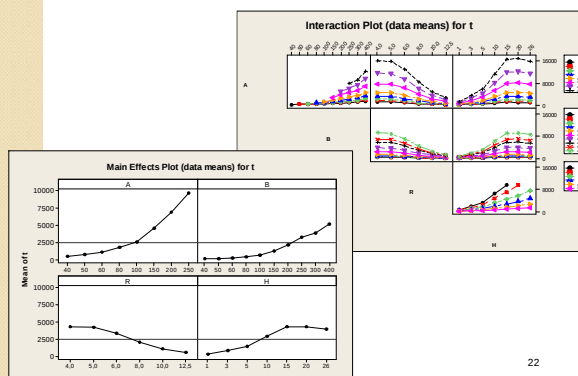
20

MiniTab v14



21

Main effects plot – Interaction plot



22

#1 regresszió - lineáris

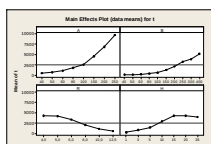
Regression Analysis: t versus A; B; R; H

The regression equation is

$$t = -216,4 + 36,6 A + 7,38 B - 556 R + 204 H$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-216,4	251,1	-0,86	0,389
A	36,585	1,238	29,56	0,000
B	7,3768	0,6638	11,11	0,000
R	-555,65	23,88	-23,27	0,000
H	204,271	8,522	23,97	0,000

S = 3099,53 R-Sq = 55,0% R-Sq (adj) = 54,9%



$$R^2 = 1 - \frac{SS_Error}{SS_Total}$$

$$R^2 (adj) = 1 - \frac{SS_Error / (n - p)}{SS_Total / (n - 1)}$$

SS – Sum of squares

95 felett kell lennie

23

#2 regresszió – négyzetes tagokkal

Regression Analysis: t versus A; B; A²; B²; R; R²; H; H²

The regression equation is

$$t = 4063,3 + 20,2 A - 4,54 B + 0,0651 A^2 + 0,0264 B^2 - 1479 R + 56,2 R^2 + 407 H - 7,82 H^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4063,3	705,1	5,76	0,000
A	20,243	5,440	3,72	0,000
B	-4,541	2,723	-1,67	0,095
A ²	0,06506	0,01970	3,30	0,001
B ²	0,026383	0,005758	4,58	0,000
R	-1479,4	163,1	-9,07	0,000
R ²	56,247	9,666	5,82	0,000
H	407,28	30,86	13,20	0,000
H ²	-7,824	1,182	-6,62	0,000

S = 3012,72 R-Sq = 57,6% R-Sq (adj) = 57,4%

24

Regression #3 - logarithmic

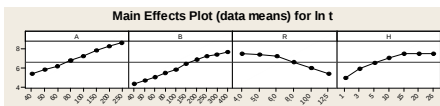
Regression Analysis: ln t versus A; B; R; H

The regression equation is

$$\ln t = 5,61 + 0,0122 A + 0,00528 B - 0,309 R + 0,112 H$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,60576	0,04351	128,84	0,000
A	0,0122012	0,0002144	56,90	0,000
B	0,0052792	0,0001150	45,90	0,000
R	-0,309245	0,004137	-74,75	0,000
H	0,112029	0,001477	75,87	0,000

S = 0,537044 R-Sq = 90,3% R-Sq(adj) = 90,2%



25

Regression #4 – log, quadratic

Regression Analysis: ln t versus A; A2; B; B2; R; R2; H; H2

The regression equation is

$$\ln t = 4,20 + 0,0294 A - 0,000066 A^2 + 0,0112 B - 0,000013 B^2 - 0,430 R + 0,00790 R^2 + 0,264 H - 0,00599 H^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,19634	0,06458	64,98	0,000
A	0,0293707	0,0004983	58,95	0,000
A2	-0,00006627	0,00000180	-36,72	0,000
B	0,0112452	0,0002494	45,09	0,000
B2	-0,00001339	0,00000053	-25,39	0,000
R	-0,42985	0,01493	-28,78	0,000
R2	0,0078993	0,0008854	8,92	0,000
H	0,263908	0,002827	93,35	0,000
H2	-0,0059925	0,0001082	-55,36	0,000

S = 0,275947 R-Sq = 97,4% R-Sq(adj) = 97,4%

26

Regression #5 – log, cubic

Regression Analysis: ln t versus A; A2; A3; B; B2; B3; R; R2; R3; H; H2; H3

The regression equation is

$$\ln t = 2,70 + 0,0486 A - 0,000234 A^2 + 0,000000 A^3 + 0,0187 B - 0,000052 B^2 + 0,000000 B^3 - 0,367 R - 0,00016 R^2 + 0,000319 R^3 + 0,464 H - 0,0253 H^2 + 0,000479 H^3$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2,7022	0,1359	19,89	0,000
A	0,048623	0,001051	46,28	0,000
A2	-0,00023405	0,00000853	-27,45	0,000
A3	0,00000041	0,00000002	20,33	0,000
B	0,0186978	0,0005848	31,97	0,000
B2	-0,00005195	0,00000288	-18,03	0,000
B3	0,00000006	0,00000000	13,58	0,000
R	-0,36744	0,05263	-6,98	0,000
R2	-0,000164	0,000683	-0,02	0,980
R3	0,0003187	0,0002661	1,20	0,231
H	0,464229	0,004944	93,90	0,000
H2	-0,0252801	0,0004462	-56,65	0,000
H3	0,00047922	0,00001094	43,80	0,000

S = 0,182954 R-Sq = 98,9% R-Sq(adj) = 98,9%

Ha a P-value 0.2 felett van, a paraméter elhagyható.

27

Regression #6 – log, modified

Regression Analysis: ln t versus A; A2; B; B2; R; H; H2; H3

The regression equation is

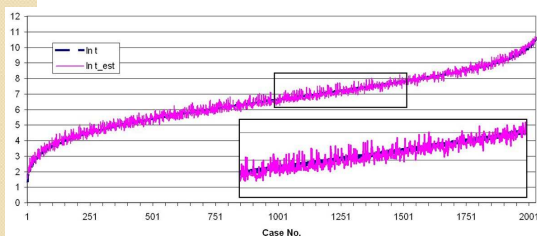
$$\ln t = 3,33 + 0,0294 A - 0,000066 A^2 + 0,0113 B - 0,000013 B^2 - 0,299 R + 0,465 H - 0,0254 H^2 + 0,000480 H^3$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3,33362	0,03017	110,51	0,000
A	0,0293667	0,0003926	74,81	0,000
A2	-0,00006625	0,00000142	-46,59	0,000
B	0,0112544	0,0001965	57,28	0,000
B2	-0,00001341	0,00000042	-32,28	0,000
R	-0,298923	0,001683	-177,66	0,000
H	0,465276	0,005872	79,24	0,000
H2	-0,0253605	0,0005299	-47,86	0,000
H3	0,00047959	0,00001300	36,90	0,000

S = 0,217412 R-Sq = 98,4% R-Sq(adj) = 98,4%

28

Results - Conclusions



$$\ln t = 3,33 + 0,0294 \cdot A - 0,000066 \cdot A^2 + 0,0113 \cdot B - 0,000013 \cdot B^2 - 0,299 \cdot R + 0,465 \cdot H - 0,0254 \cdot H^2 + 0,000480 \cdot H^3$$

$$t = e^{3,33 + 0,0294 A - 0,000066 A^2 + 0,0113 B - 0,000013 B^2 - 0,299 R + 0,465 H - 0,0254 H^2 + 0,000480 H^3}$$

29

Mesterséges intelligencia módszerek



- Szabály-alapú becslés
- Eset-alapú becslés
- Neurális háló-alapú becslés

30

