



TANULÁSI GÖRBÉK AZ ÉPÍTŐIPARBAN

Mályusz Levente

ELŐZMÉNYEK 1

- A tanulási görbét először egy 19 századi pszichológus Hermann Ebbinghaus írta le. Azt vizsgálta, hogy milyen gyorsan memorizál valaki különböző számú szavakat.



ELŐZMÉNYEK 2

- Tanulási görbe T.P. Wright 1936;
 - Repülőgép alkatrészeket gyártó vállalatnál végezte kísérleteit
- Alapelv:
 - Az ismétlődő munkát végző ember a „betanulás” miatt egyre gyorsabban tudja elvégezni feladatát.
 - Egységnyi ismétlődő munkára fordított idő az elején a legnagyobb, majd egyre kisebb, ahogy telik az idő.



ELŐZMÉNYEK 3

- A betanulást először a motoros képességekkel hozták kapcsolatba
 - Később a menedzsment és a technológia fejlődésével a „tanulási görbe” más elnevezéseket is kapott: javulási görbe, előrehaladási görbe, hatékonysági görbe
- A betanulás két fázisból áll kognitív és motoros betanulásból.



NEM HASZNÁLHATÓ, HA

- ...nem folyamatos a munkavégzés
- ...a munka teljesen automatizált
- ...a megtermelt darabszám nagyon kicsi
- ...egyedi termékek gyártása esetén



MIRE HASZNÁLHATJUK A TANULÁSI GÖRBÉT?

○ Előrebecslés

- Jövőbeni ciklusok építési ideje és a szükséges költségek becslésére, együttesen és ciklusonként

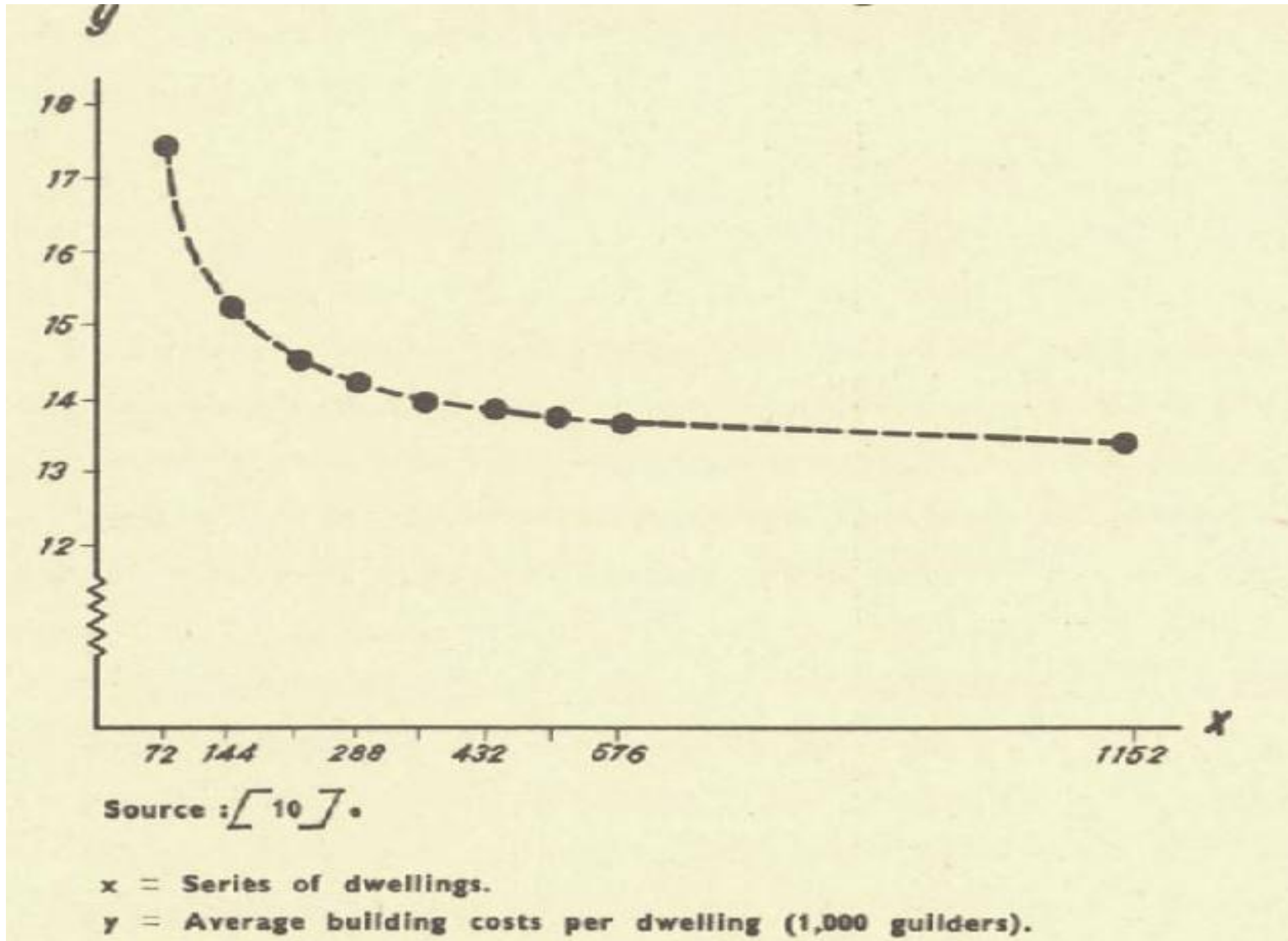


DÁNIA 2007 ISMÉTLŐDŐ MUNKÁRA ELSZÁMOLHATÓ RÁFORDÍTOTT IDŐ

- Ha a norma becsléséhez alapul vett darabszám/mennyiség kevesebb mint 15% -a készül el, akkor a műszakilag indokolt ráfordított időt 40%-kal kell növelni
- ...
- Ha több mint 55% de kevesebb mint 65% készül el akkor a növekmény 10%.
- 88%-os tanulási ráta



ÁTLAGOS ÉPÍTÉSI KÖLTSÉG A LAKÁSSZÁM FÜGGVÉNYÉBEN, HOLLAND FELMÉRÉS



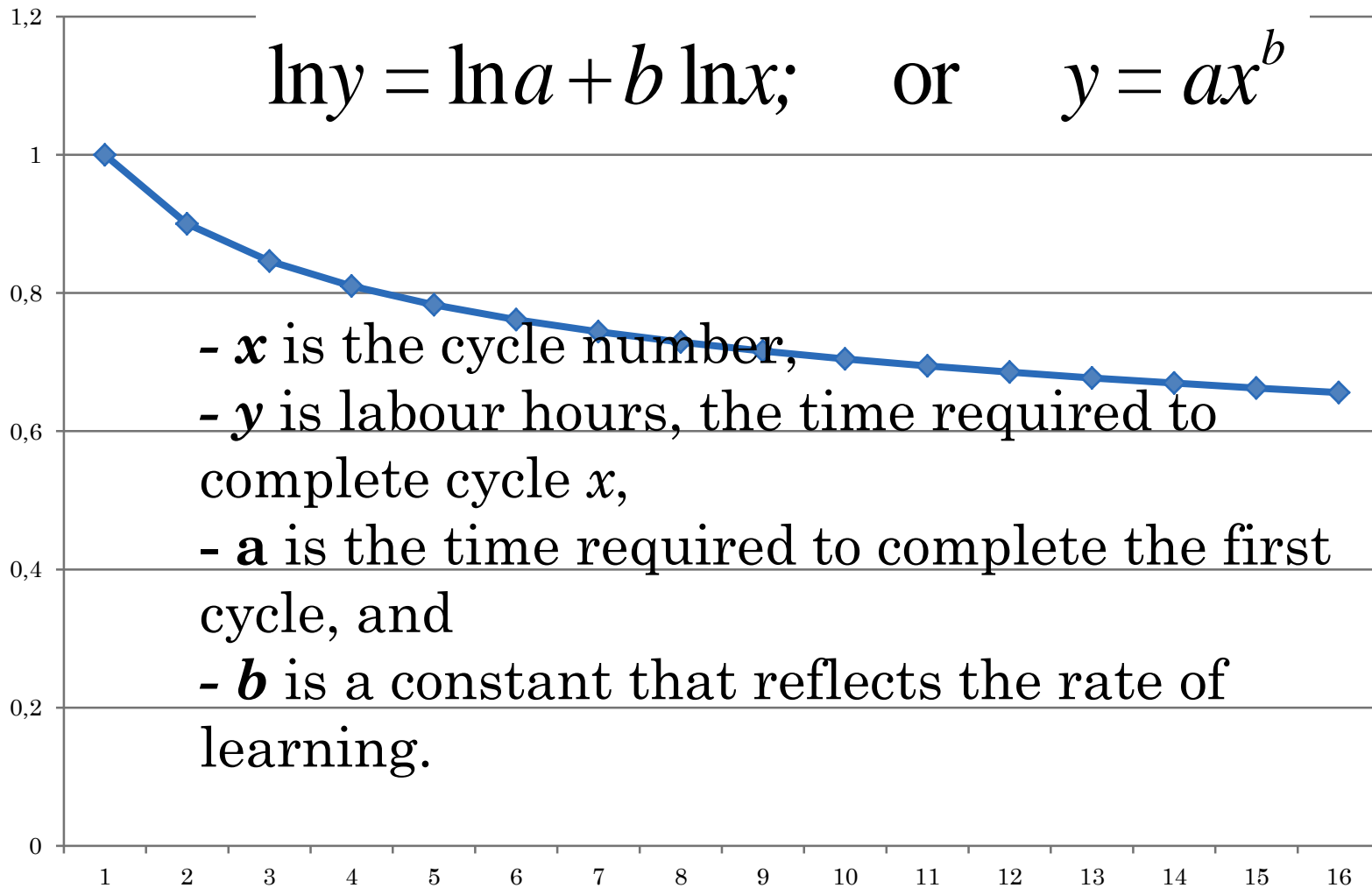
TANULÁSI GÖRBE, ALAPOK

$$y = ax^{\log_2 r}$$

- ahol
- „a” az első egység elkészítési ideje/költsége
- „y” az x-edik egység elkészítési ideje/költsége
- „x” darabszám
- „r” tanulási ráta
- Mivel „x” monoton növekszik, „r” < 1, „a” pozitív, „y” monoton csökken.



TANULÁSI GÖRBE



PAPÍR, CERUZA/TOLL

- Számolja ki a szorzatot 3-szor egymás után és jegyezze fel a kiszámításhoz szükséges időt

$$53729 * 78352$$



UNIT MODELL, CRAWFORD MODELL

x	y
cycles	unit
1	2,132
2	1,789
3	1,588
4	1,54
5	1,575
6	

közelítés

$$y = ax^b \quad \text{or} \quad \ln y = \ln a + b \ln x;$$

$$\text{learning rate \%} = 100 (2)^b$$

Például ha $b = -0,151$ akkor a tanulási ráta 90%

“If there is learning in the production process, the cost of some *doubled unit* equals the cost of the undoubled unit times the slope of the learning curve”



UNIT MODELL ALAPELVE

- A 1. egység elkészítési ideje 100 óra
- A 2. egység elkészítési ideje $0,8 \cdot 100$ óra
- A 4. egység elkészítési ideje $0,8 \cdot 0,8 \cdot 100$ óra
- ...



WRIGHT MODELL CUMULATIVE AVERAGE MODEL

x	y
cycles	Cumulative av.
1	2,132
2	1,961
3	1,836
4	1,762
5	1,725
6	

$$CA_t = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{t-1} + \dots + Y_t) / t.$$

közelítés

$$y = ax^b \quad \text{or} \quad \ln y = \ln a + b \ln x;$$

adottak y,x párok, kiszámítom a,b paramétereket és becsülöm a 6. ciklus várható idejét és/vagy költségét

“If there is learning in the production process, the cumulative average cost of some doubled unit equals the cumulative average cost of the undoubled unit times the slope of the learning curve”



CUMULATIVE ÁTLAG MODELL ALAPELVE

- Az átlag elkészítési ideje az első egységnek 100 óra
- Az átlag elkészítési ideje az első 2 egységnek $0,8 * 100$ óra
- Az átlag elkészítési ideje az első 4 egységnek $0,8 * 0,8 * 100$ óra
- ...



ISMÉTLŐDŐ MUNKÁK, WRIGHT 1936

Cycles	Cumulative	
	Time	Average
1	1	1
2	1,8	0,9
3	2,54	0,85
4	3,24	0,81
5	3,91	0,78
6	4,57	0,76
7	5,21	0,74
8	5,83	0,73



TANULÁSI RÁTA SZÁMÍTÁSA

$$y = ax^b$$

$$\text{Tanulási ráta} = 100 * 2^b$$



MATEMATIKAI MODELLEK ÉS ADAT TRANSZFORMÁCIÓK



MATEMATIKAI MODELLEK

- Unit modell (Crawford 1947)
- Wright modell (1936)
- Stanford B modell (1979)
- Dejong modell (1957)
- S Curve modell
- Dual phase modell (1995)



STANFORD B MODELL

x	y
cycles	
1	2,132
2	1,961
3	1,836
4	1,762
5	1,725
6	

közelítés

$$y = a(x + B)^b \quad \text{or} \quad \ln y = \ln a + b \ln(x + B);$$

Ahol "B" 0-10 közötti érték, gyakorlástól, betanítástól függően



DEJONG MODELL

x	y
cycles	
1	2,132
2	1,961
3	1,836
4	1,762
5	1,725
6	

közelítés

$$y = a \left[M + \frac{1-M}{x^b} \right] = a_0 + (a - a_0)x^{-b}$$

Ahol „M” kompressziós együttható



S CURVE MODELL

x	y
cycles	
1	2,132
2	1,961
3	1,836
4	1,762
5	1,725
6	

közelítés

$$y = a_0 + (a - a_0)(x + B)^b$$

DeJong és Stanford modell együtt



DUAL PHASE MODELL

x	y
cycles	
1	2,132
2	1,961
3	1,836
4	1,762
5	1,725
6	

$$y = ax^b + cz^d$$

Kognitív és motoros tanulási ráta

Első fázis: kognitív

Második fázis: motoros



ADAT TRANSZFORMÁCIÓK
CUMULATIVE AVERAGE
MOVING AVERAGE
EXPONENTIAL AVERAGE

$$CA_t = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{t-1} + \dots + Y_t) / t.$$

$$MA_t = (Y_t + Y_{t-1} + Y_{t-2}) / 3$$

$$EA_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha) EA_{t-1}$$



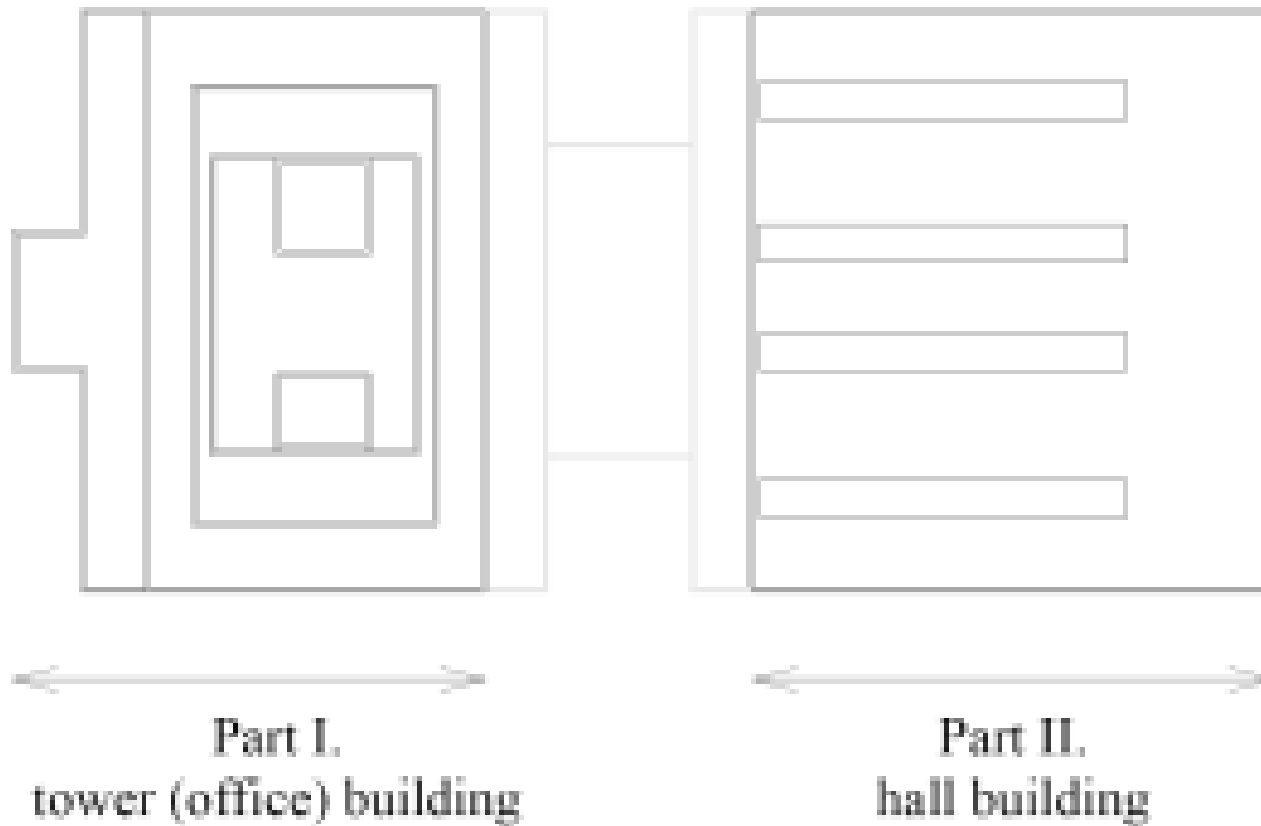
TANULÁSI RÁTÁK

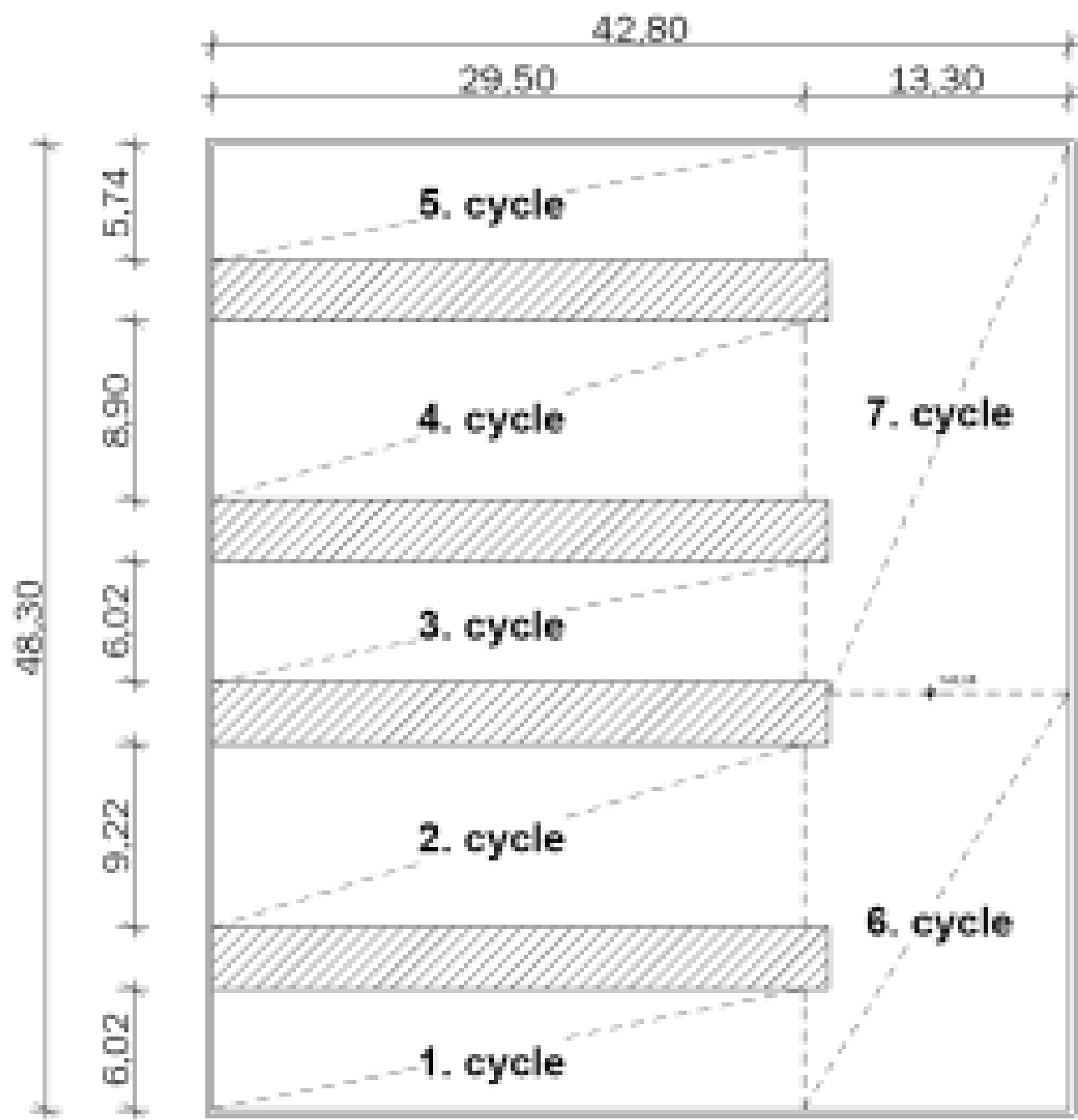
- A tanulási ráta 70% és 100% között van
- 100% - nincs tanulás (pld. automata)
- A legjobb tanulási ráta amely ipari körülmények között elérhető 70%

Üzemi tevékenység	Tanulási ráta%
Elektronika	90-95
Anyagok megmunkálása	90-95
Elektromos szerelés	75-85
Hegesztés	88-92



PÉLDA: FELÚJÍTÁSI MUNKA





INPUT ADATOK

cycles	Unit	CA	MA	Exp. Av. 0,5
1	2,132	2,132	2,132	2,132
2	1,789	1,961	1,961	1,961
3	1,588	1,836	1,836	1,775
4	1,54	1,762	1,639	1,658
5	1,575	1,725	1,568	1,617
6	1,546	1,608	1,554	1,582
7	1,541	1,558	1,554	1,562



ESTIMATION/Y VALUES

cycles	Original	UNIT	CA	MA	EA; 0,5
1	2,132	2,084	2,137	2,184	2,161
2	1,789	1,807	1,946	1,911	1,908
3	1,588	1,663	1,842	1,767	1,773
4	1,54	1,567	1,771	1,671	1,684
5	1,575	1,497	1,718	1,601	1,617
6	1,546	1,442	1,676	1,546	1,565
7	1,541	1,397	1,642	1,5	1,522



EREDMÉNY/ PONTOSSÁG

cycles	UNIT	CA	MA	EA; 0,5
1	0,048	0,005	0,052	0,029
2	0,018	0,015	0,05	0,053
3	0,075	0,006	0,069	0,002
4	0,027	0,009	0,032	0,026
5	0,078	0,007	0,033	0
6	0,10.4	0,068	0,008	0,017
7	0,144	0,084	0,054	0,04
Accuracy 1-5	0,246	0,042	0,236	0,11
Accuracy 6-7	0,248	0,152	0,062	0,057



EREDMÉNYEK/PONTOSSÁG

cycles	UNIT	CA	MA	WMA	EA; 0,5
1	0,048	0,005	0,052	0,002	0,029
2	0,018	0,015	0,05	0,012	0,053
3	0,075	0,006	0,069	0,017	0,002
4	0,027	0,009	0,032	0,015	0,026
5	0,078	0,007	0,033	0,019	0
6	0,104	0,019	0,008	0,044	0,017
7	0,144	0,031	0,054	0,068	0,04
Accuracy 1-5	0,246	0,042	0,236	0,065	0,11
Accuracy 6-7	0,248	0,05	0,062	0,112	0,057



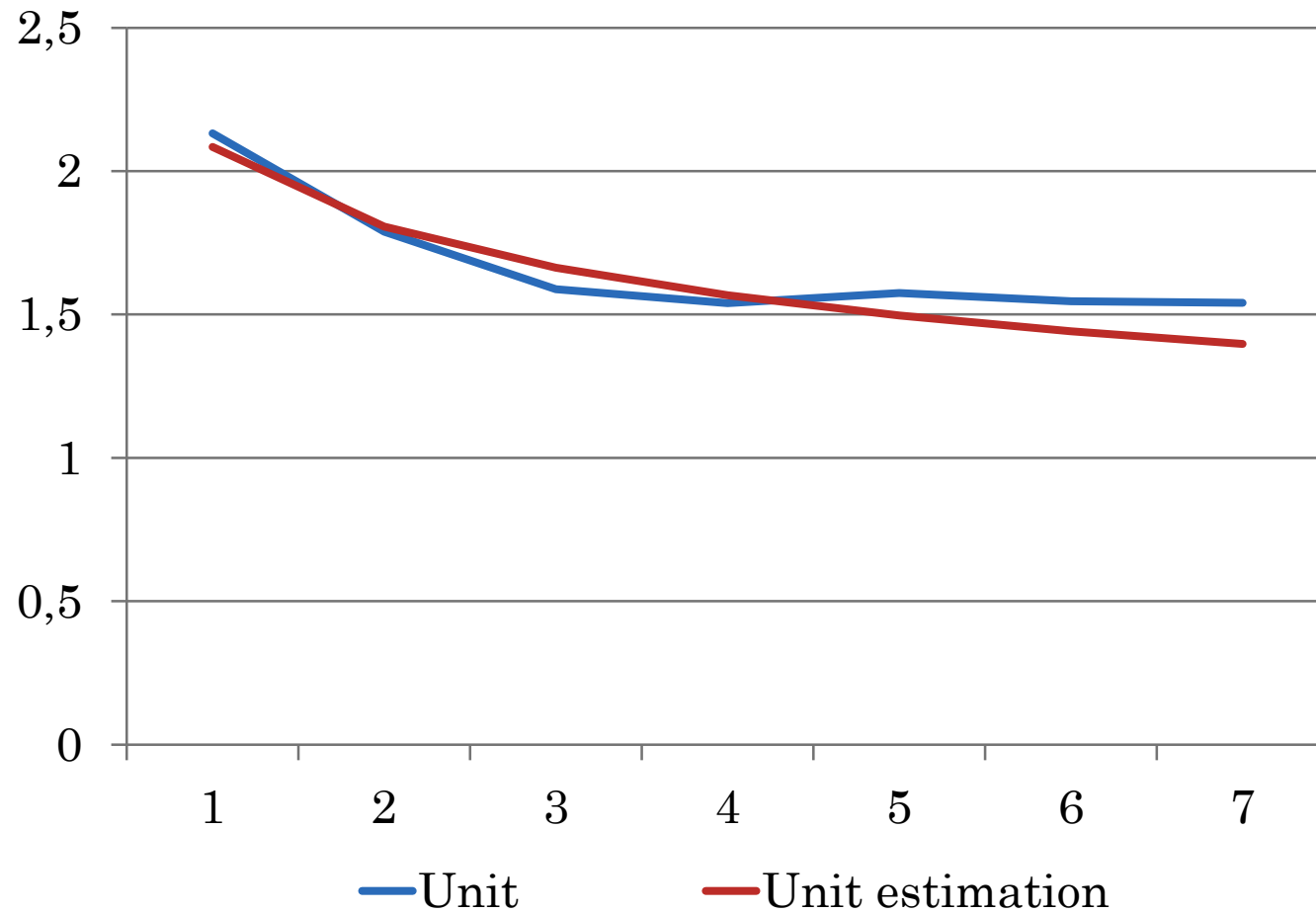
MIT CSINÁLTUNK?

- Aim was to predict time required to complete cycle 6 and 7;
- We transformed data and used averages;
- Based on the first 5 cycles we construct parameters of the functions based on three functions;
- Compare the estimation and real data for cycle 6 and 7;
- CA and EA was the most accurate prediction for the data.



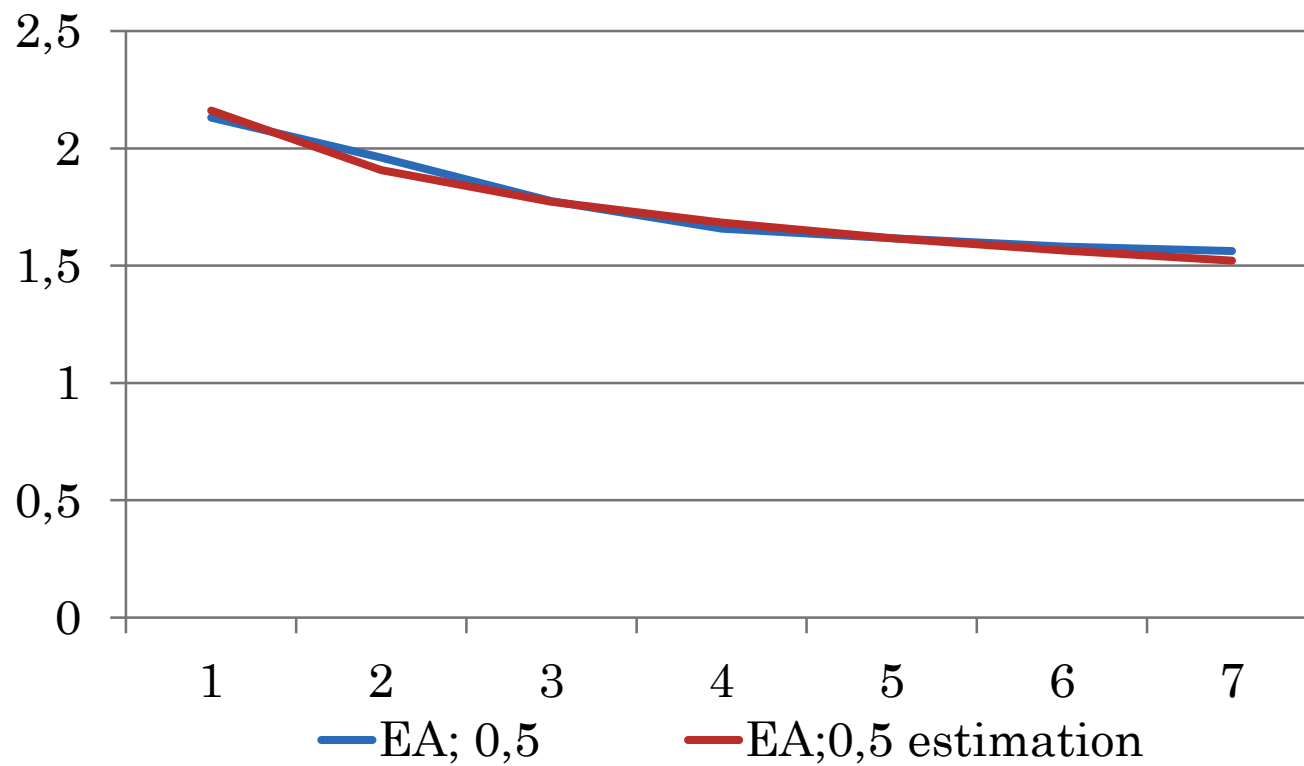
EREDMÉNY 1

Unit vs Unit function

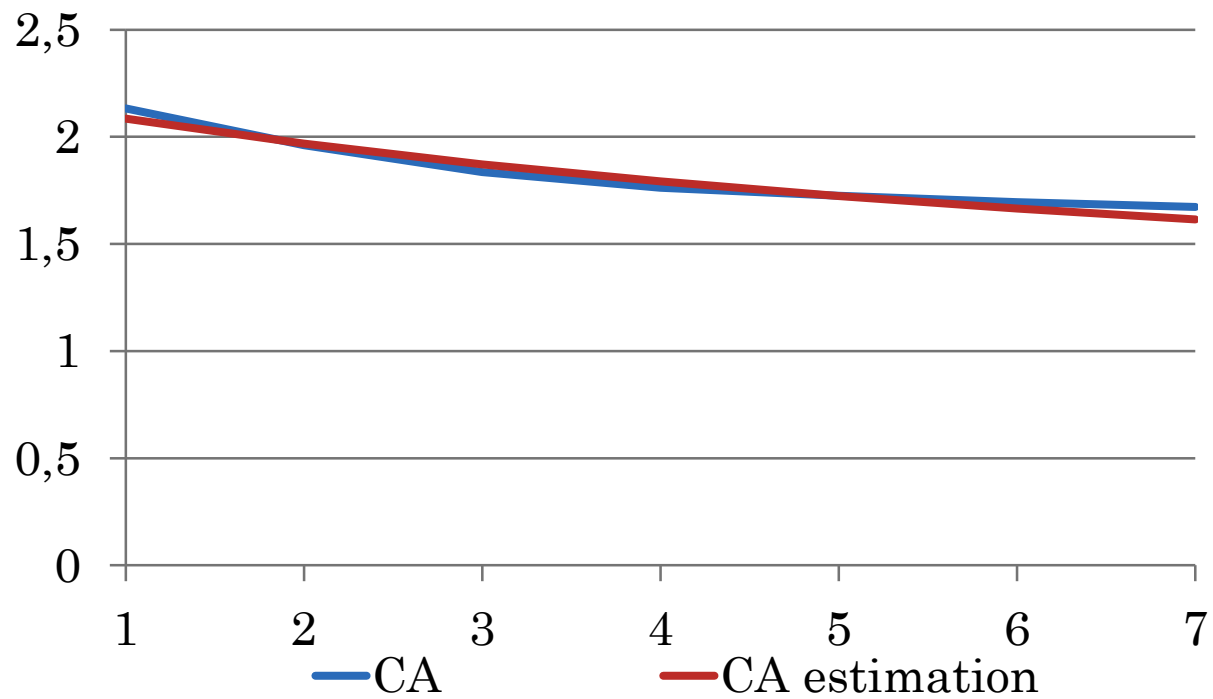


EREDMÉNY 2

EA;0.5 vs EA;0.5 function



EREDMÉNY 3



CONCLUSION

- Original time of cycle 6 =1,546
 - Estimation based on EA: $Y_6=1,513$
 - Estimation based on Unit: $Y_6=1,442$
 - Original time of cycle 7 =1,541
 - Estimation based on EA: $Y_7=1,479$
 - Estimation based on Unit: $Y_7=1,379$
-
- Transform data to an average brings better prediction

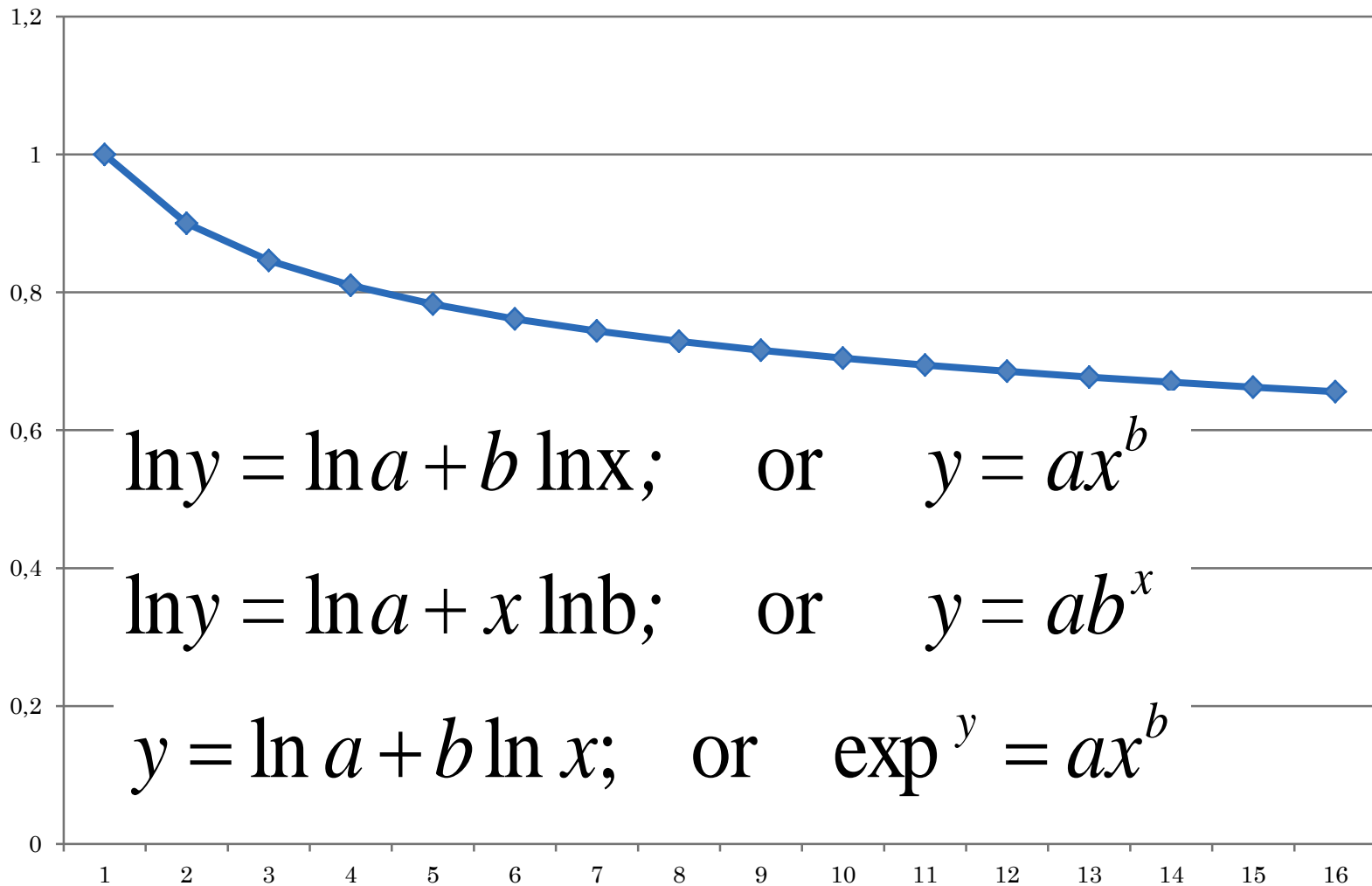


EREDMÉNYEK

- Szakirodalommal egyező
 - linear log x logy method is the most precise predictor
- Szakirodalomtól eltérő
 - Kumulatív átlag és az exponenciális átlag a legjobb eszközök az előrebecsléshez
 - unit data eljárás nem ad kielégítően pontos eredményt



MAT. FÜGGVÉNYEK



$$\ln y = \ln a + b \ln x; \quad \text{or} \quad y = ax^b$$

$$\ln y = \ln a + x \ln b; \quad \text{or} \quad y = ab^x$$

$$y = \ln a + b \ln x; \quad \text{or} \quad \exp^y = ax^b$$



NÉHÁNY TOVÁBBI JELLEMZŐ TANULÁSI RÁTA

- Repülőgépgyártás 85%
- Hajóépítés 80-85%
- Elektronikai eszközök gyártása 90-95%
- Építőipar 87-93%



NÉHÁNY TOVÁBBI JELLEMZŐ TANULÁSI RÁTA ÉPÍTŐIPARI MUNKÁKRA

- Irodaházak építése 95%
- Ács, villanyszerelő, vízvezeték-szerelő munkái, betonozási munkák 90%
- Kőműves munkák, burkolási munkák 85%
- Zsaluzás, vasszerelés 80%
- Ajtó, ablak, előregyártott panelek elhelyezése 90-95%



TANULÁSI RÁTA

- Ha egy tevékenység 25%-ban automatizált akkor 80% körül van a tanulási ráta
- Ha egy tevékenység 50%-ban automatizált akkor 85% körül van a tanulási ráta
- Ha egy tevékenység 75%-ban automatizált akkor 90% körül van a tanulási ráta

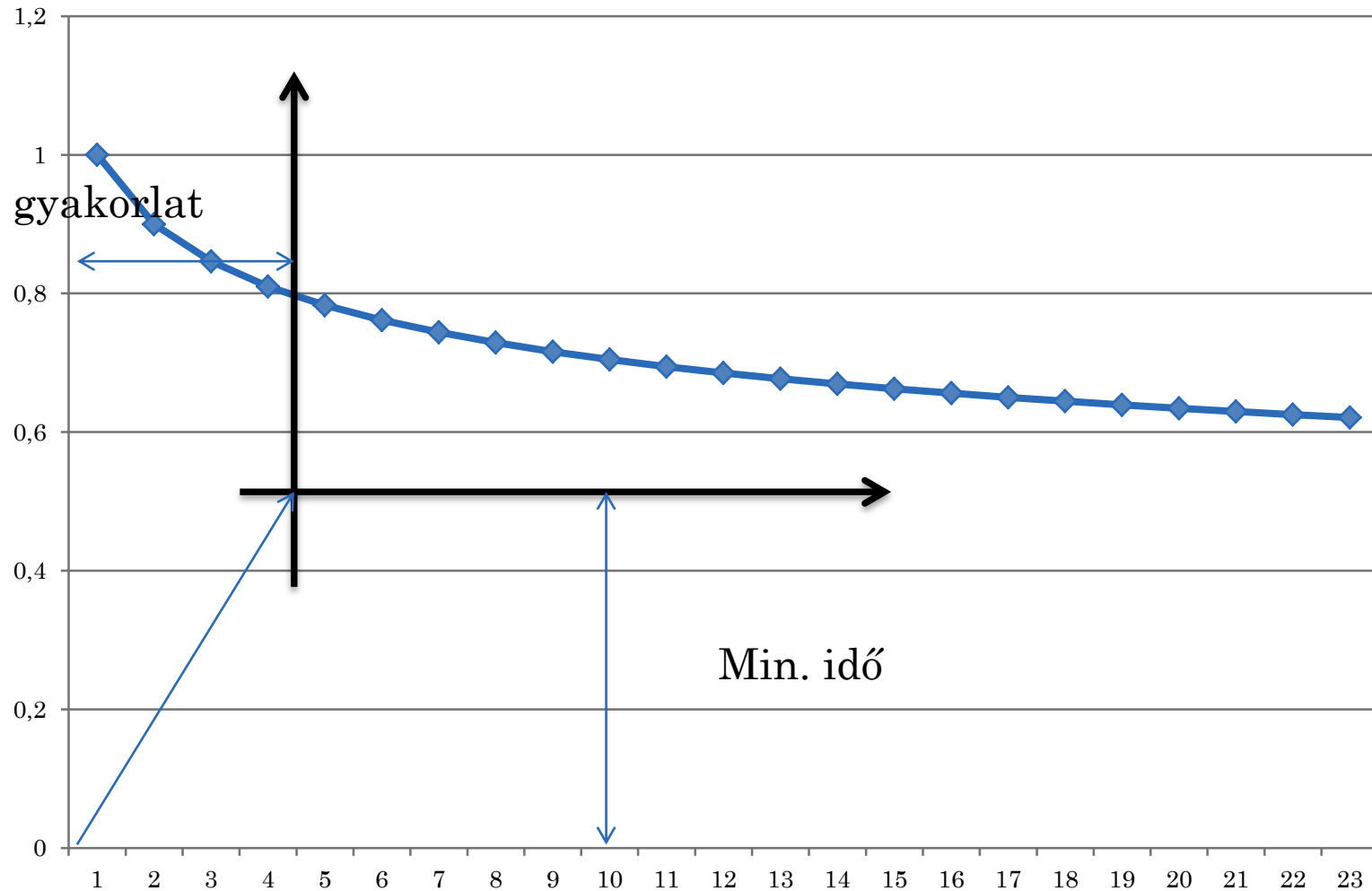


ÖSSZEFOGLALÁS 1

- Ismétlődő munkafolyamatokat kell elvégeznünk
- Becsüljük meg az elkészítés idejét/költségét
- Alapelv: a ráfordított idő/költség minden ismétlődéskor folyamatosan csökken
- Szűrjük ki a zavarokat a rendelkezésre álló adatokból transzformációval
- Keressünk monoton csökkenő függvényt, amelyet illeszthetünk a transzformált adatokra



ÖSSZEFOGLALÁS 2



FELHASZNÁLT IRODALOM

- S. C. Gottlieb, K. Haugbølle: The repetition effect in building and construction works
- Mályusz- Pém: Empirical Analysis of Learning Curves in Roof Insulation.



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET

