

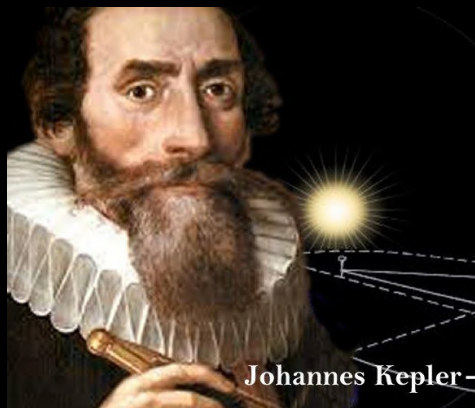
# Hogyan vizsgálják a fizikusok a városokat?

—  
**Bokányi Eszter**

**ELTE TTK Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék**

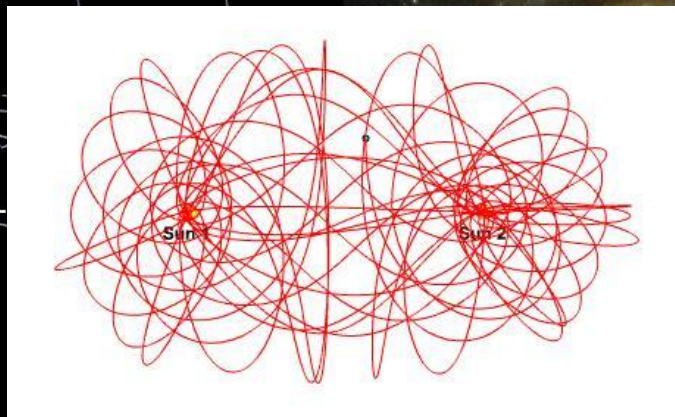


# Haladás a sok összetevő felé

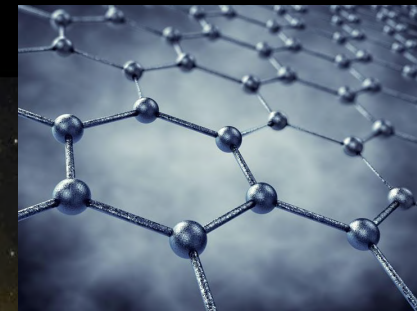


Johannes Kepler

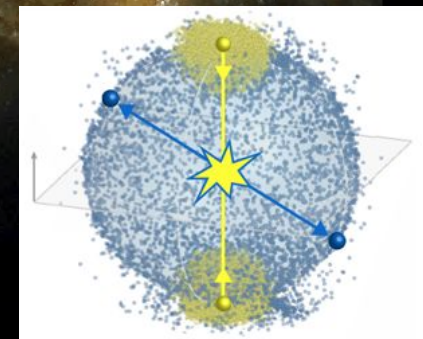
kéttest-probléma



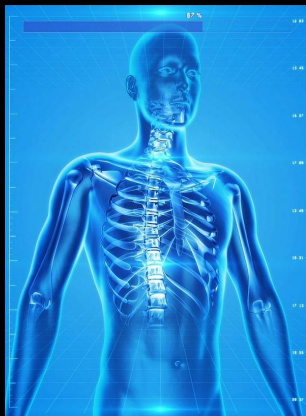
háromtest-probléma



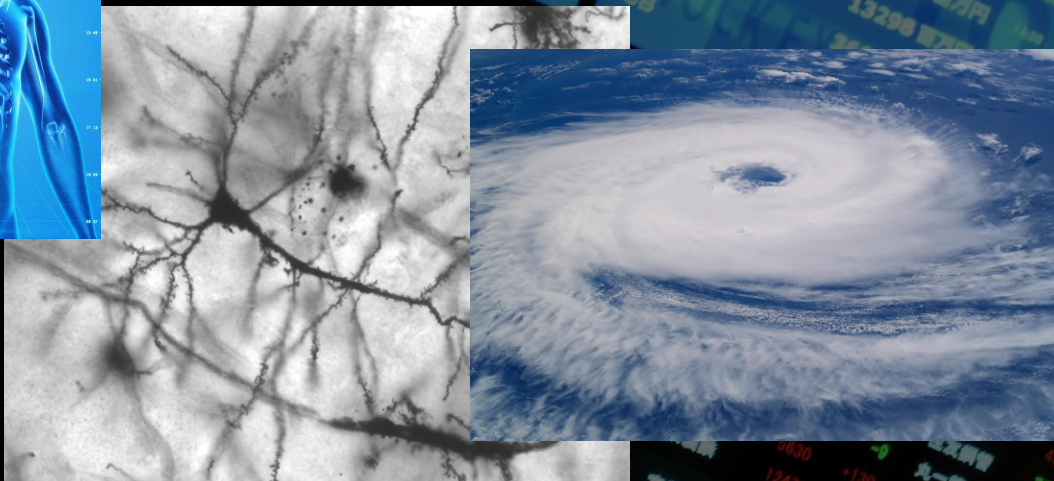
statisztikus fizika  
soktestprobléma



# Komplex rendszerek

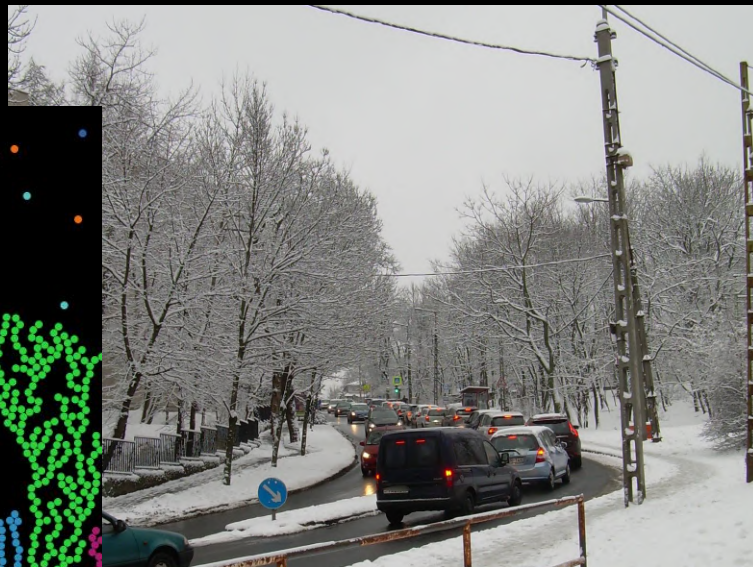
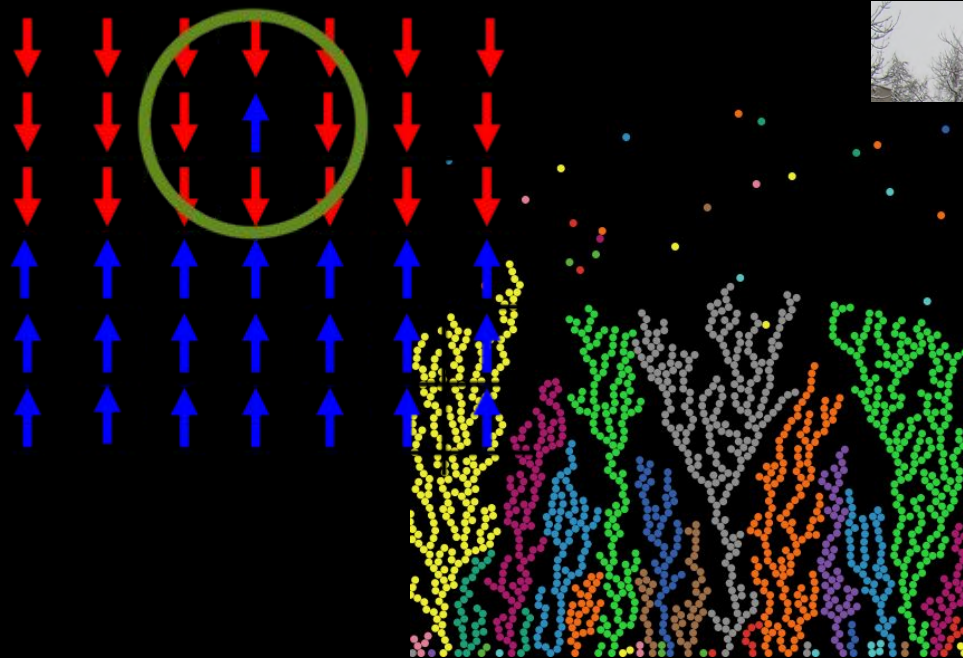


ÖNSZERVEZŐDÉS, NEMLINEÁRIS FOLYAMATOK,  
KOLLEKTÍV JELENSÉGEK,  
ADAPTIVITÁS, ALKALMAZKODÁS, STATISZTIKUS  
LEÍRÁS



- KLÍMA
- ÉLŐ SZERVEZETEK
- AZ EMBERI AGY
- ÖKOSZISZTÉMÁK
- ÉLŐ SEJT
- TÁRSADALMI ÉS  
GAZDASÁGI  
SZERVEZŐDÉSEK

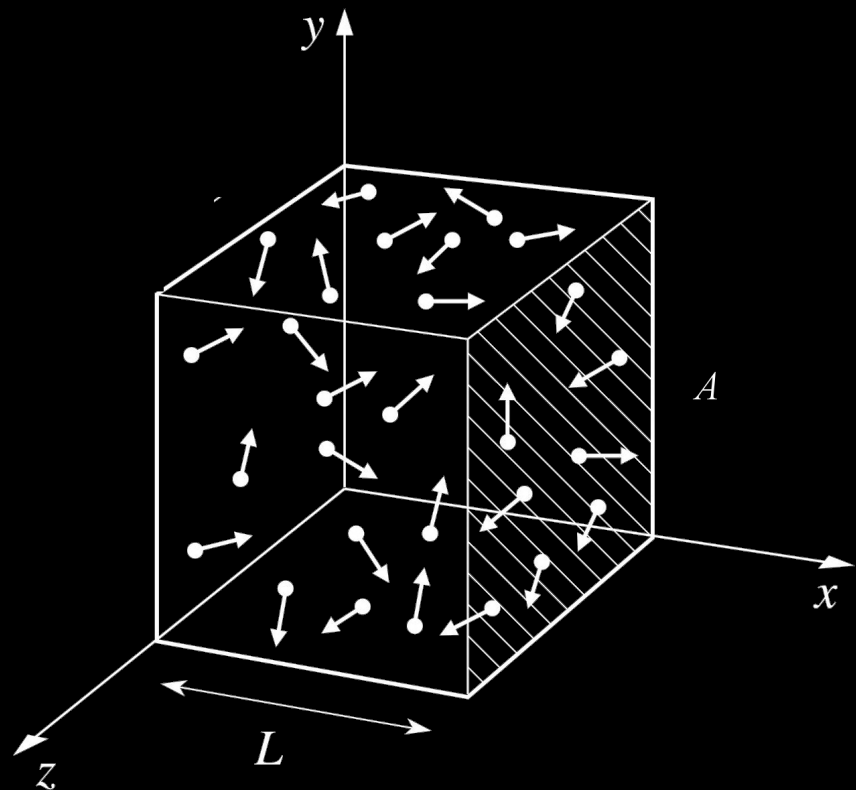
# Elemi döntések, kis alkotók



# Ismert példa

## ideális gázcseccskék

- tökéletesen rugalmasan ütköznek egymással és az edény falával, különben nincs köztük kölcsönhatás
- a részecskék mérete elhanyagolható a köztük levő távolsághoz (és az edény méretéhez) képest
- állandóan mozgásban vannak véletlenszerű irányokban

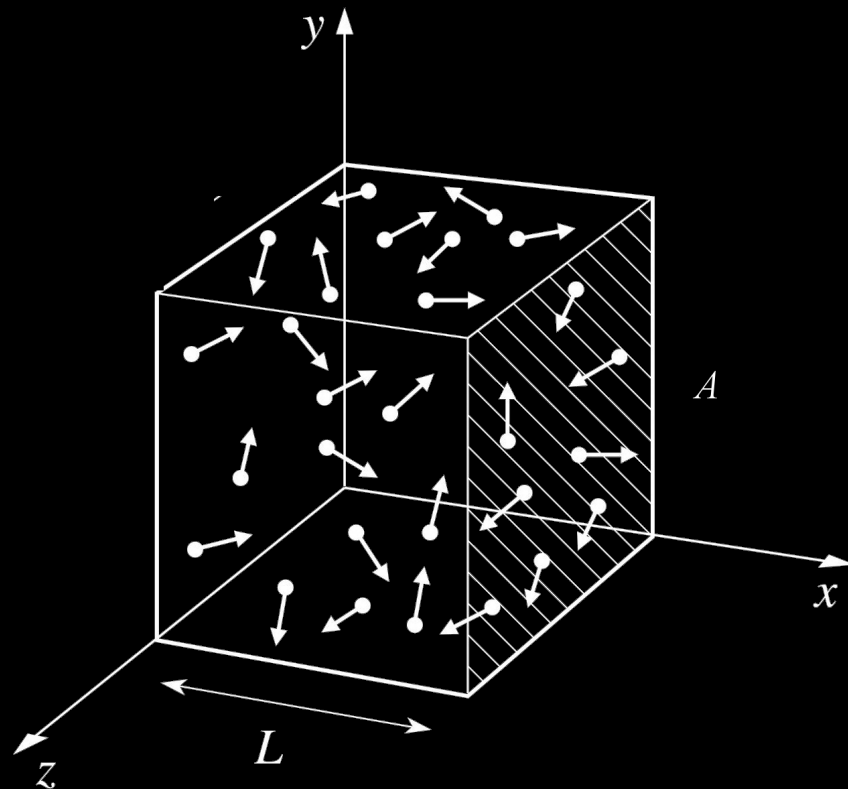


# Ismert példa

A vonalkázott falra ható nyomás:

$$p = \frac{F}{A}$$

Az erő a részecskék fallal való ütközéséből származik.



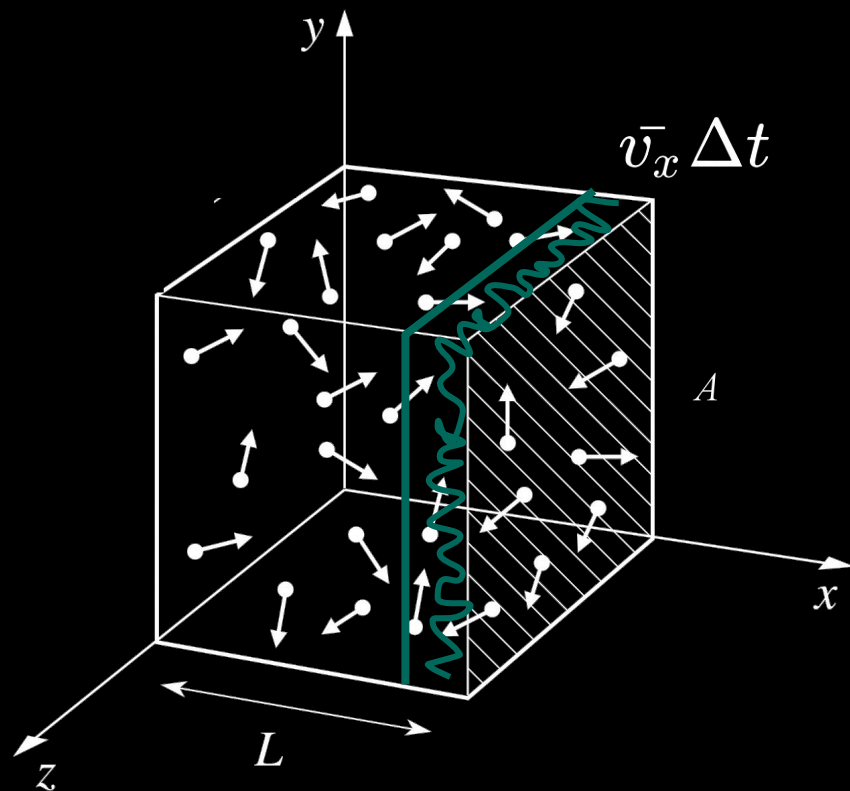
# Ismert példa

Newton II. törvényéből:

$$F_r = m \cdot a = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2m\bar{v}_x}{\Delta t}$$

Már csak azt kellene tudnunk, hányan ütköznek  $\Delta t$  idő alatt ezzel a fallal.

$$N_r = \frac{A\bar{v}_x\Delta t}{V} N \frac{1}{2}$$



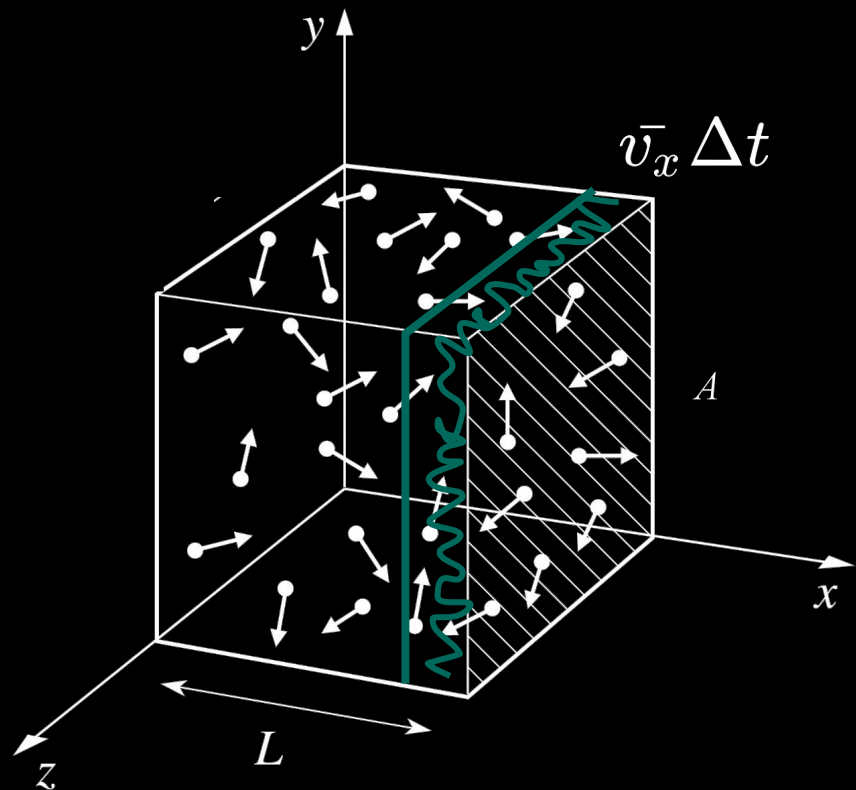
# Ismert példa

Szükséges még az ekvipartíció tétele:

$$\varepsilon = \frac{1}{2}kT = \frac{1}{2}m\bar{v}_x^2 \rightarrow m\bar{v}_x^2 = kT$$

Már csak össze kell pakolnunk az ismereteket!

$$F = N_r \cdot F_r = \frac{A\bar{v}_x \Delta t}{V} N \frac{1}{2} \cdot \frac{2m\bar{v}_x}{\Delta t}$$





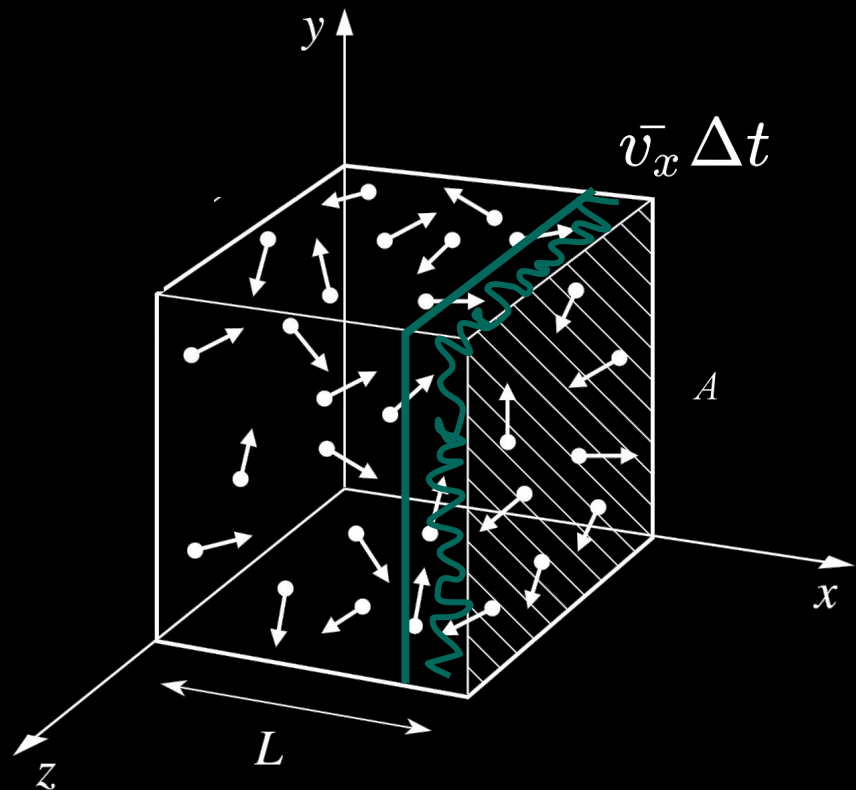
# Ismert példa

Tehát a nyomás

$$p = \frac{F}{A} = \frac{\frac{A}{V} N \cdot m \bar{v}^2}{A} = \frac{NkT}{V}$$

Kijött a gáztörvény!

$$pV = NkT$$

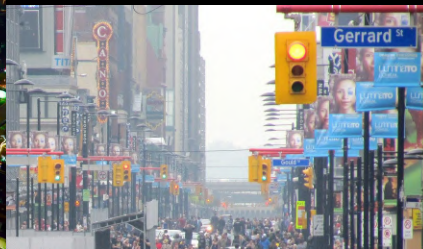


# Motiváció

TÁVOLRÓL

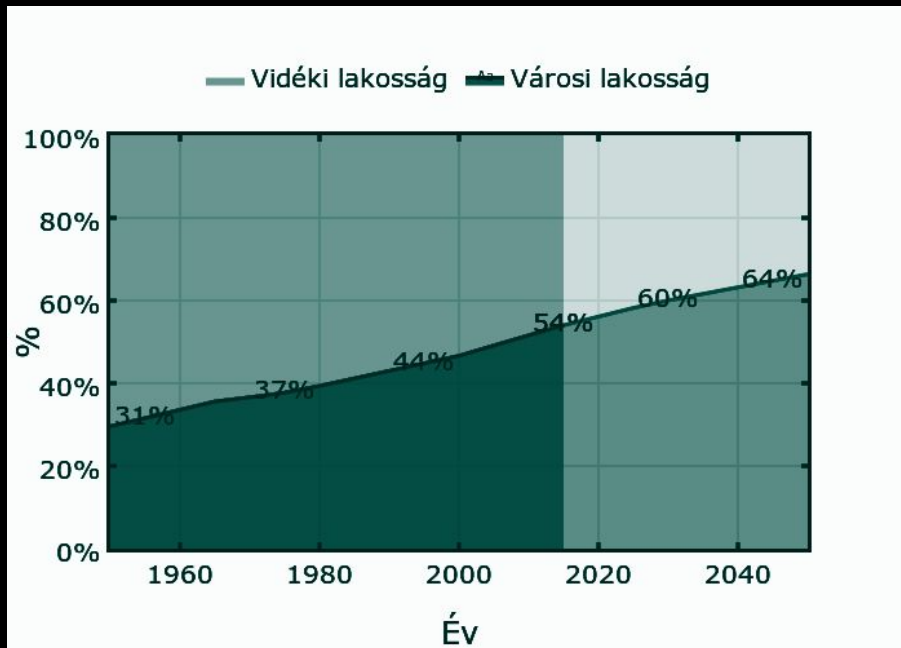


KÖZELEBBRŐL



BELÜLRŐL

# Miért fontos megértenünk a városokat?



- **TECHNOLÓGIA**
- **ÖSSZEKÖTÖTTSÉG**
- **KOMMUNKÁCIÓ**
- **KÖZLEKEDÉS**
- **ADATOK**

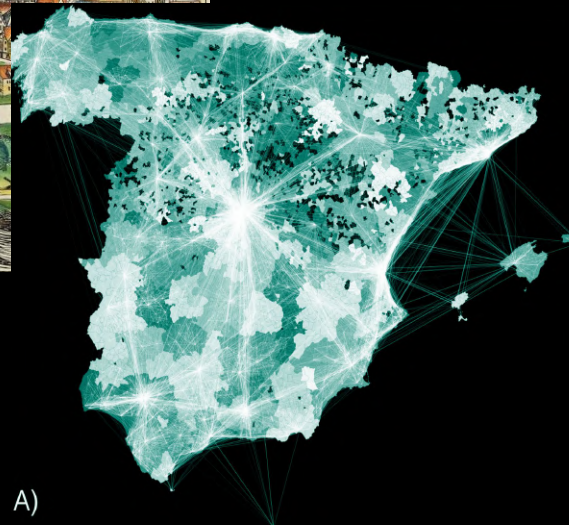
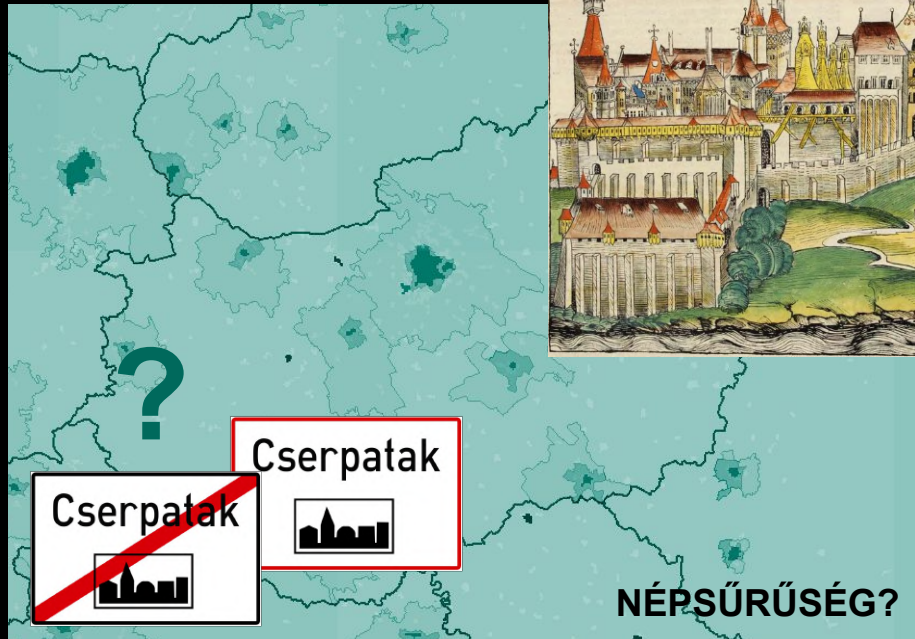


**TERVEZÉS**  
**DÖNTÉSHOZATAL**  
**SZERVEZÉS**  
**HATÉKONYSÁG**

# Határok

FUNKCIONALITÁS?

KAPCSOLATOK?



A)

NÉPSŰRŰSÉG?

# A városok gáztörvénye

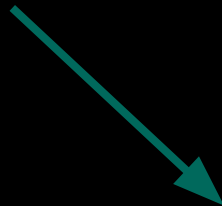
makroszkopikus megfigyelések a  
méret függvényében



# A városok gáztörvénye

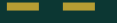
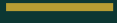


makroszkopikus megfigyelések a méret függvényében

TÁVOLRÓL



mikroszkopikus modell?

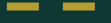
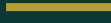


# Skálázás - a hatványfüggvény

N darab		$L \sim N$
hossz		
felület		$A \sim N^2$
térfogat		$V \sim N^3$

$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto c \cdot x^n$$

# Skálázás - a hatványfüggvény

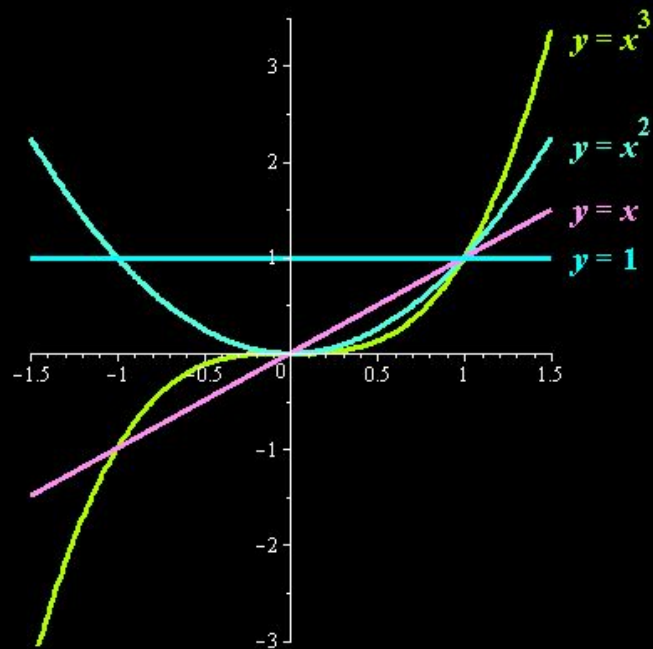
N darab		$L \sim N$
hossz		
felület		$A \sim N^2$
térfogat		$V \sim N^3$

hatványfüggvények

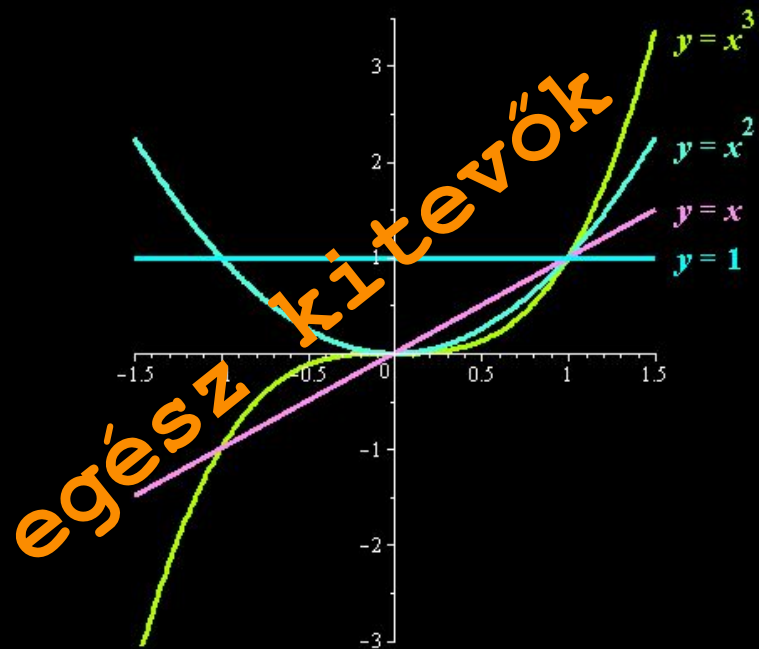
$$f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$
$$x \mapsto c \cdot x^n$$



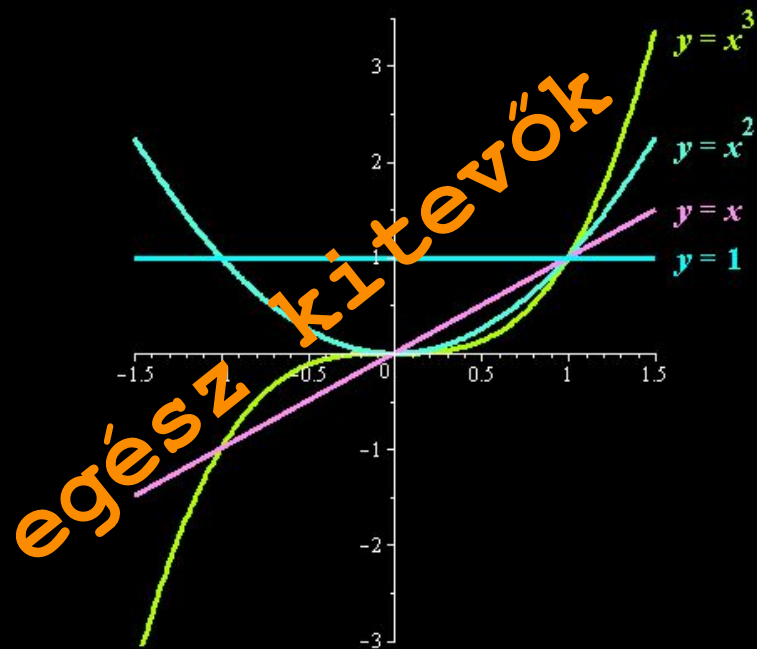
# Skálázás - a kitevő



# Skálázás - a kitevő



# Skálázás - a kitevő



## FIZIKAI PÉLDÁK (MÁGNESÉG)

Külső mágneses tér nélkül

$$M \sim (T_c - T)^\beta$$

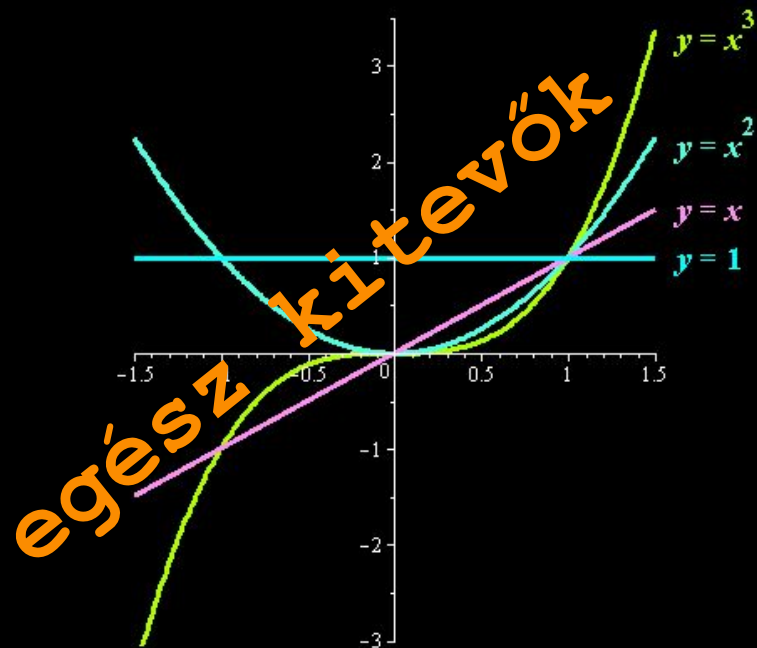
$$\xi \sim (T - T_c)^{-\nu}$$

Curie-hőmérsékleten, külső térrel

$$M \sim H^{1/\delta}$$



# Skálázás - a kitevő



## FIZIKAI PÉLDÁK (MÁGNESSÉG)

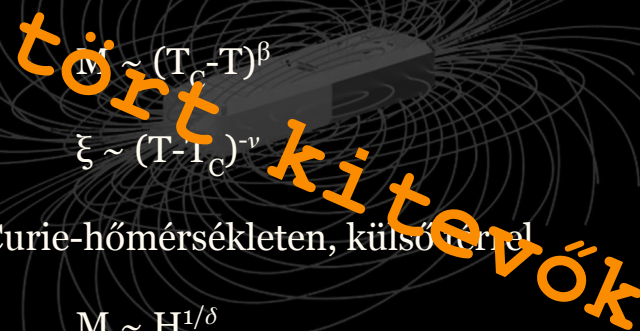
Külső mágneses tér nélkül

$$M \sim (T_c - T)^\beta$$

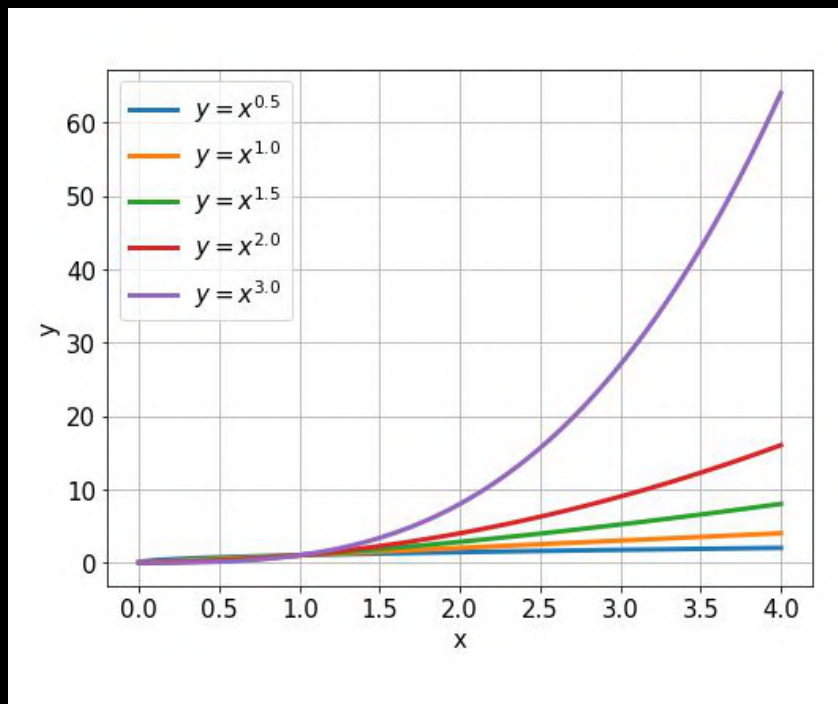
$$\xi \sim (T - T_c)^{-\nu}$$

Curie-hőmérsékleten, külső térrel

$$M \sim H^{1/\delta}$$



# Skálázás - a kitevő mérése

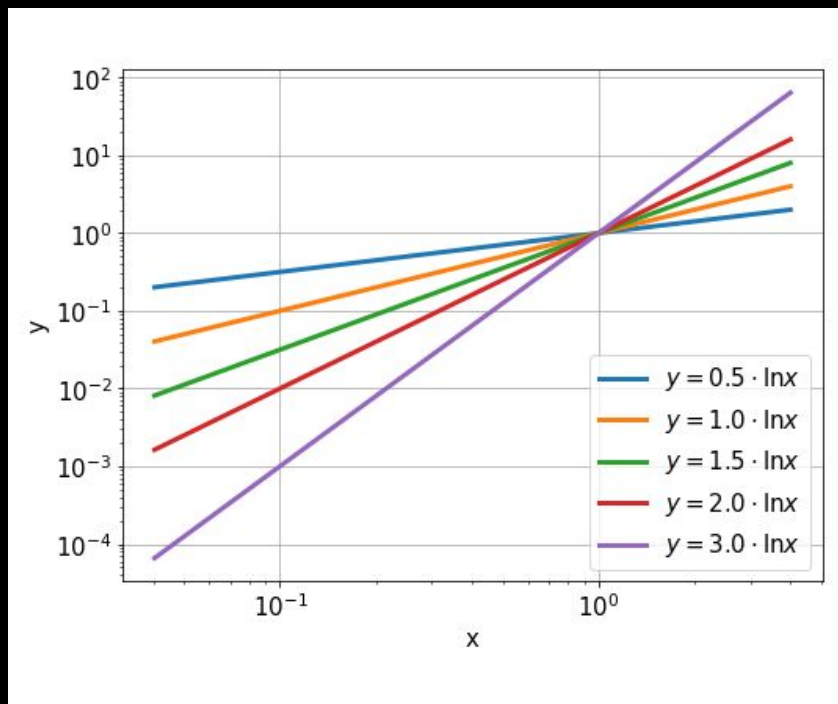


$$y = c \cdot x^m$$

a logaritmus azonosságaival

$$\ln y = \ln c + m \cdot \ln x$$

# Skálázás - a kitevő mérése



$$y = c \cdot x^m$$

a logaritmus azonosságaival

$$\ln y = \ln c + m \cdot \ln x$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ y' & = & b + m \cdot x' \end{array}$$

egyenes egyenlete!

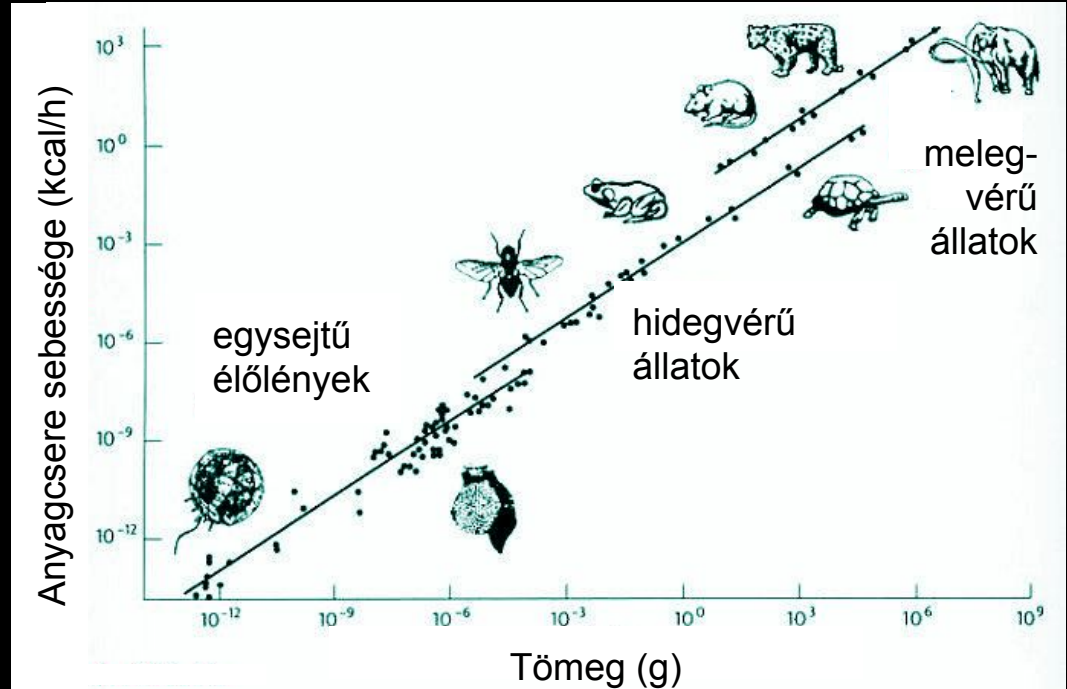
# Skálázás - egy egyenes

## BIOLÓGIAI PÉLDA

Kleiber-törvény

anyagcsere gyorsasága  $\sim$  testtömeg<sup>3/4</sup>?

**Sok nagyságrenden keresztül!**



# Városi skálázás

$$Y = Y_0 \cdot N^\beta$$

mért mennyiség

szorzófaktor

városméret

kitevő

The diagram shows the equation  $Y = Y_0 \cdot N^\beta$  in white text on a black background. Four red arrows point from labels to parts of the equation: 'mért mennyiség' points to  $Y$ , 'szorzófaktor' points to  $Y_0$ , 'városméret' points to  $N$ , and 'kitevő' points to  $\beta$ .



# Városi skálázás

$$Y = Y_0 \cdot N^\beta$$

mért  
mennyiség

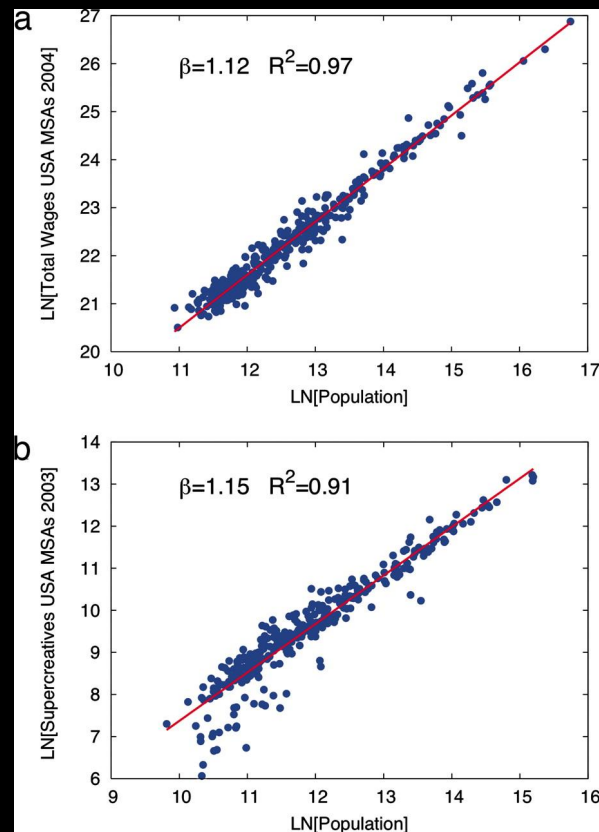
városméret

tengelymetszet  
szorzófaktor

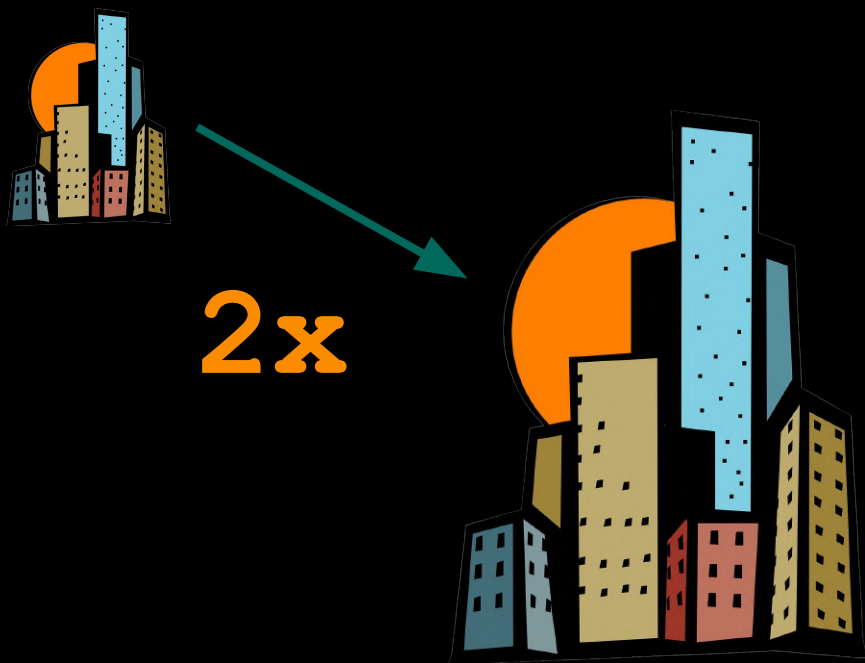
meredekség

# Városi skálázás - mi lehet Y?

R&D fogl.	1.34	US (2002)	$\beta > 1$ szuperlineáris
Szabadalmak	1.27	US (2001)	
GDP	1.15	Kína (2002)	
Elektromosság	1.00	Németo. (2002)	$\beta = 1$ lineáris
Vízfogyasztás	1.01	Kína (2002)	
Úthálózat	0.83	Németo. (2002)	$\beta < 1$ szublineáris
Benzinkutak	0.77	US (2001)	



# Mit jelentenek a kitevők?



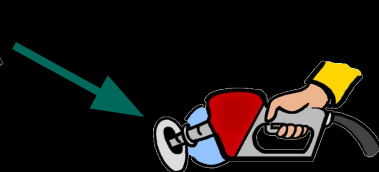
$$\beta = 1.1$$



$$\beta = 1$$



$$\beta = 0.9$$



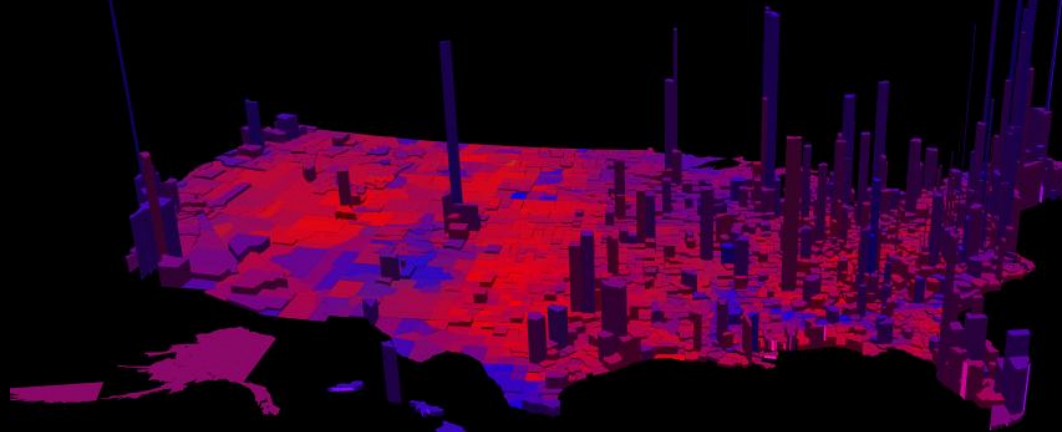
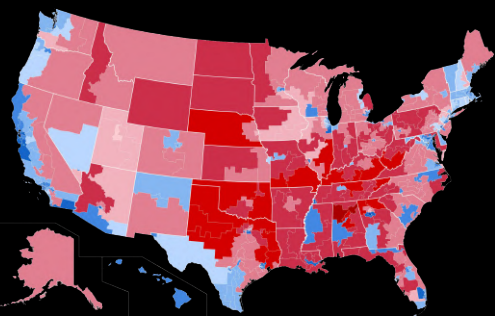
**1.86x**

# Sejtés I.

"The voting data suggest that people don't make cities liberal -- cities make people liberal."

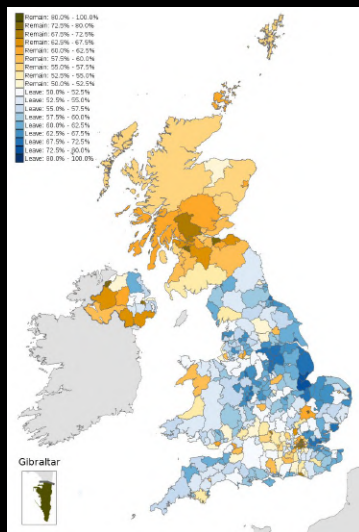
Josh Kron - The Atlantic

**2016 november**  
Trump / Clinton?

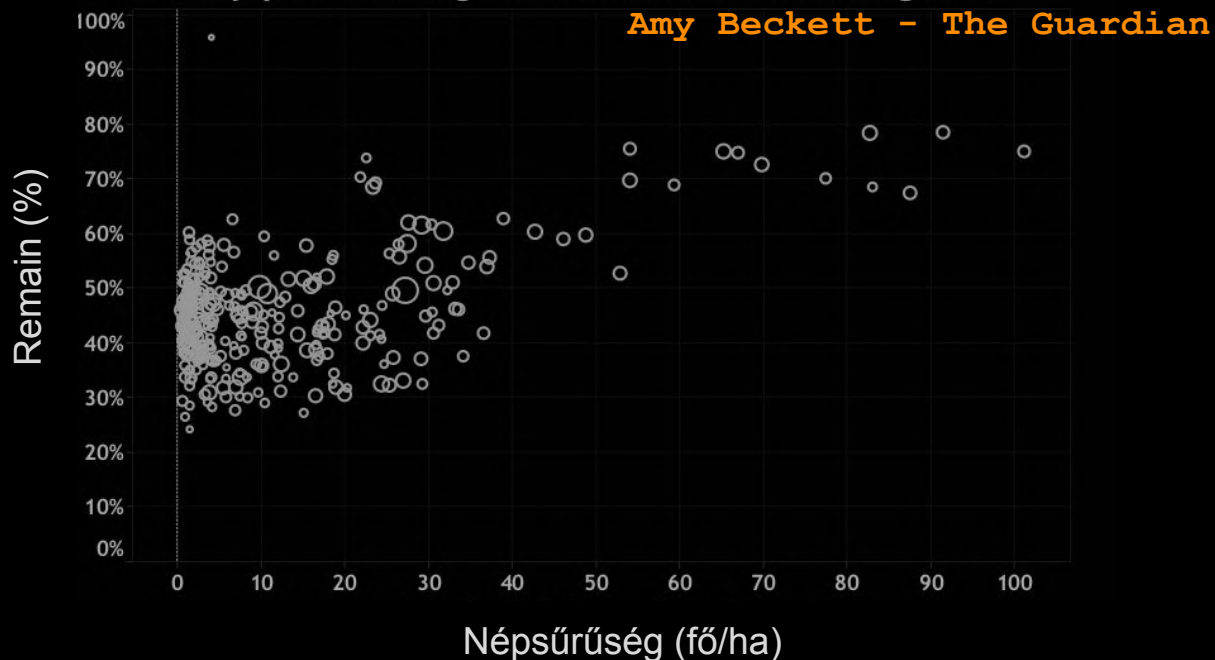


# Sejtés II.

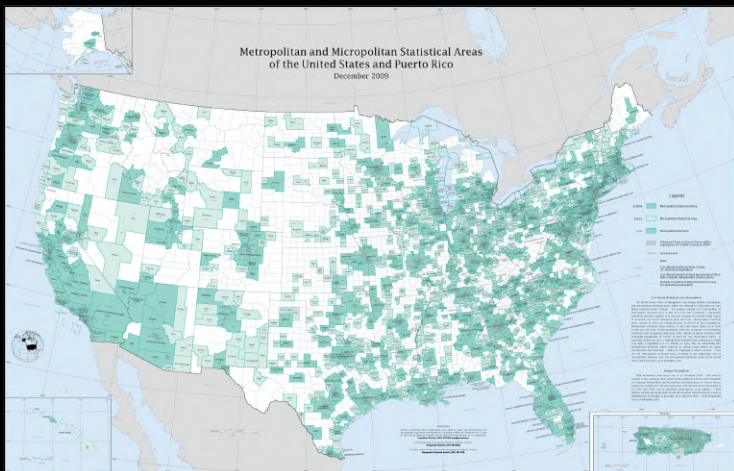
2016 június  
EU Referendum, UK



Cities may dominate our culture, but a backlash against liberal values and multiculturalism has been led by rural and small-town voters.



# Városi területek



USA városi területek - MSA definíciók

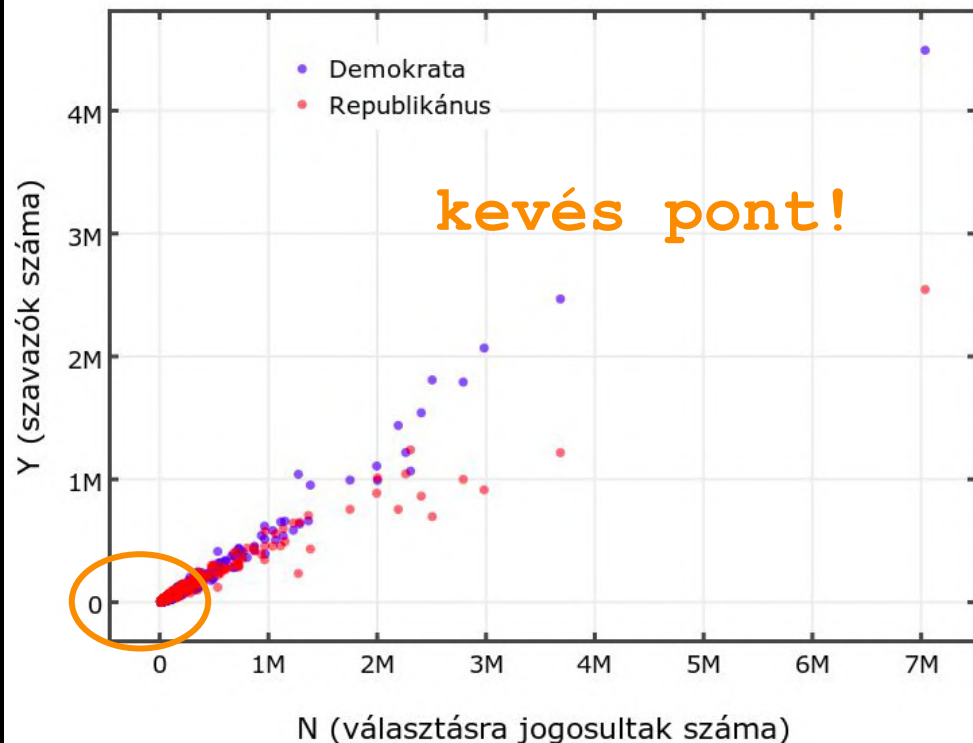
## UK - városok/választóközetek



# USA 2016

Vajon igaz-e a  
skálatörvény?

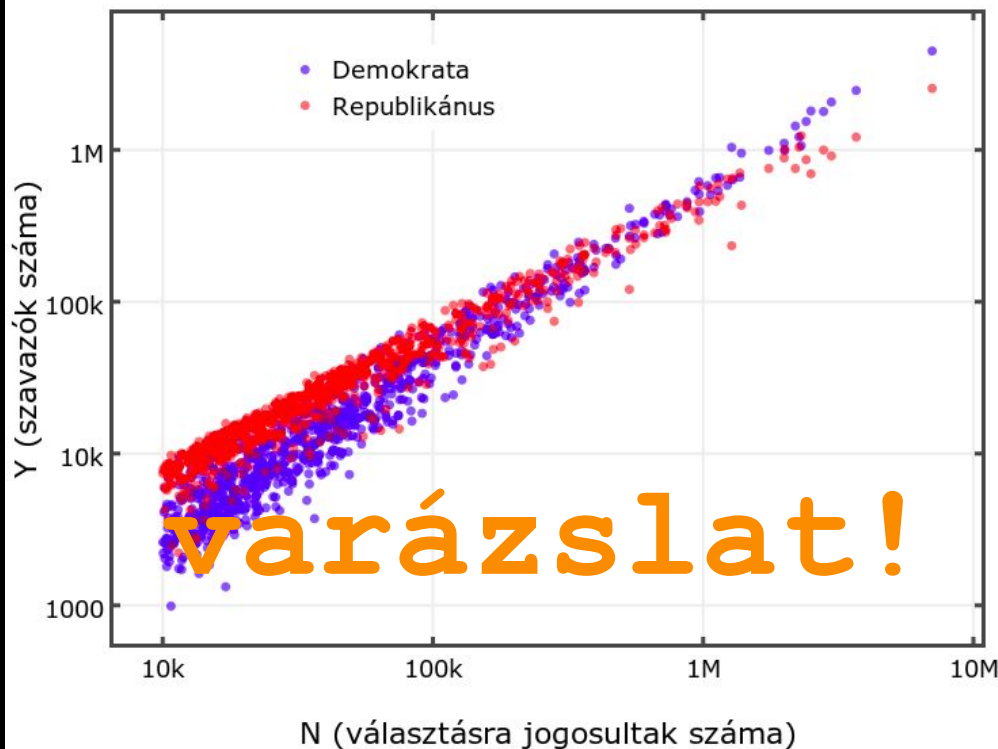
$$Y = Y_0 \cdot N^\beta$$



# USA 2016

Vajon igaz-e a  
skálatörvény?

$$Y = Y_0 \cdot N^\beta$$

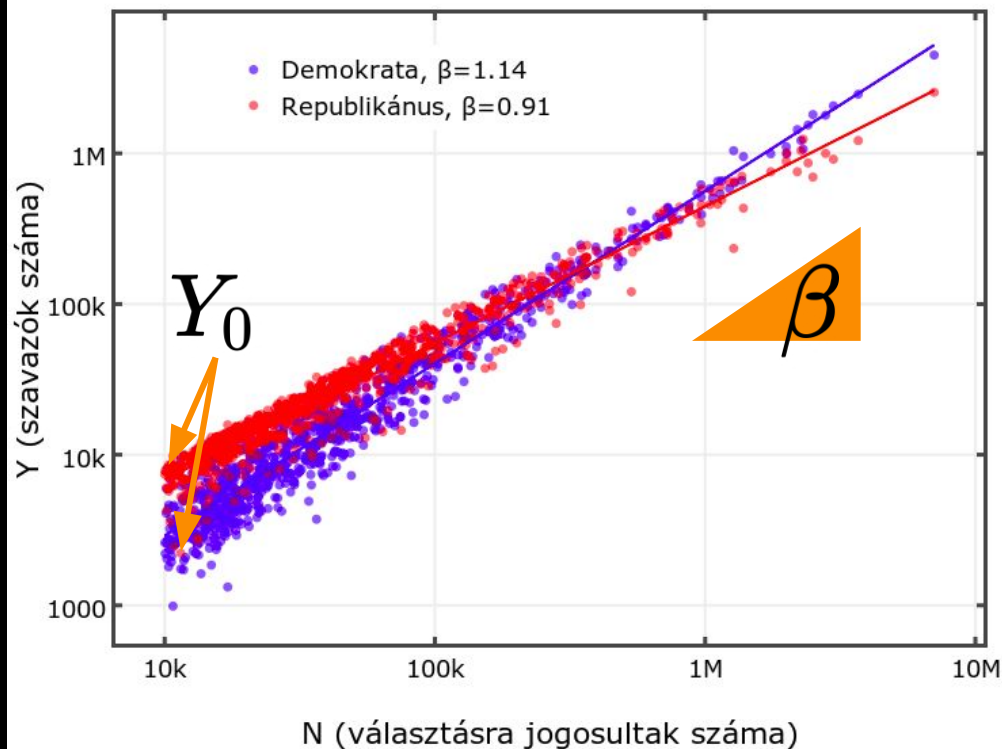




# USA 2016

Vajon igaz-e a  
skálatörvény?

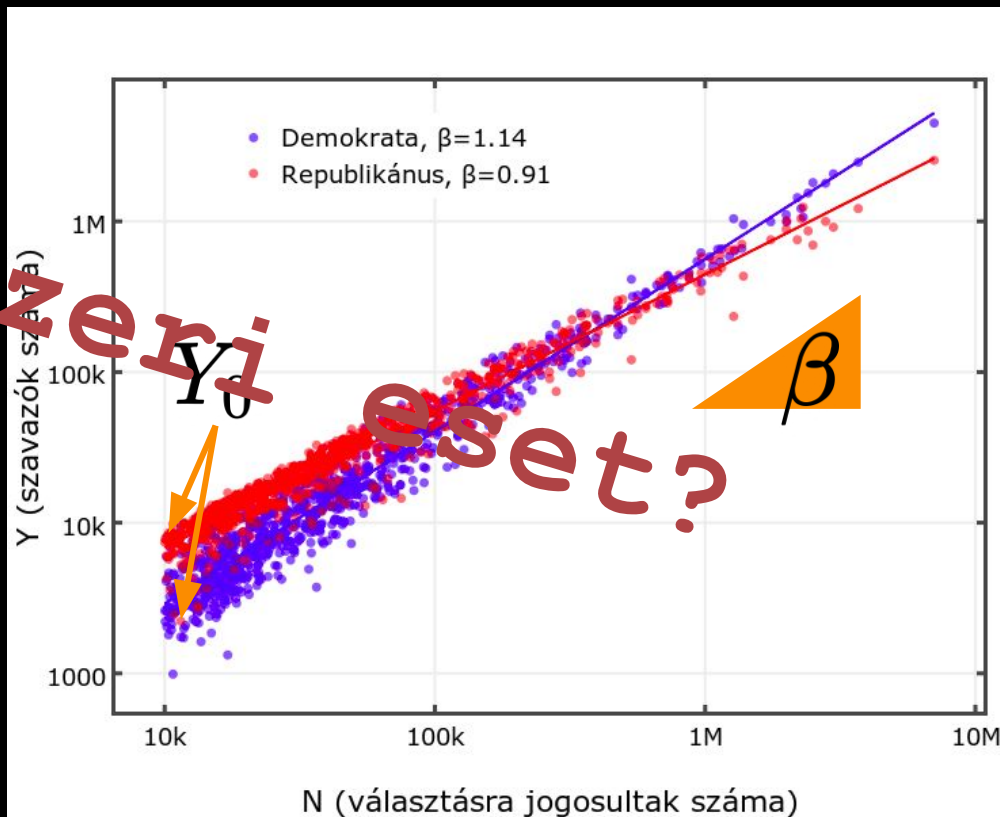
$$Y = Y_0 \cdot N^\beta$$



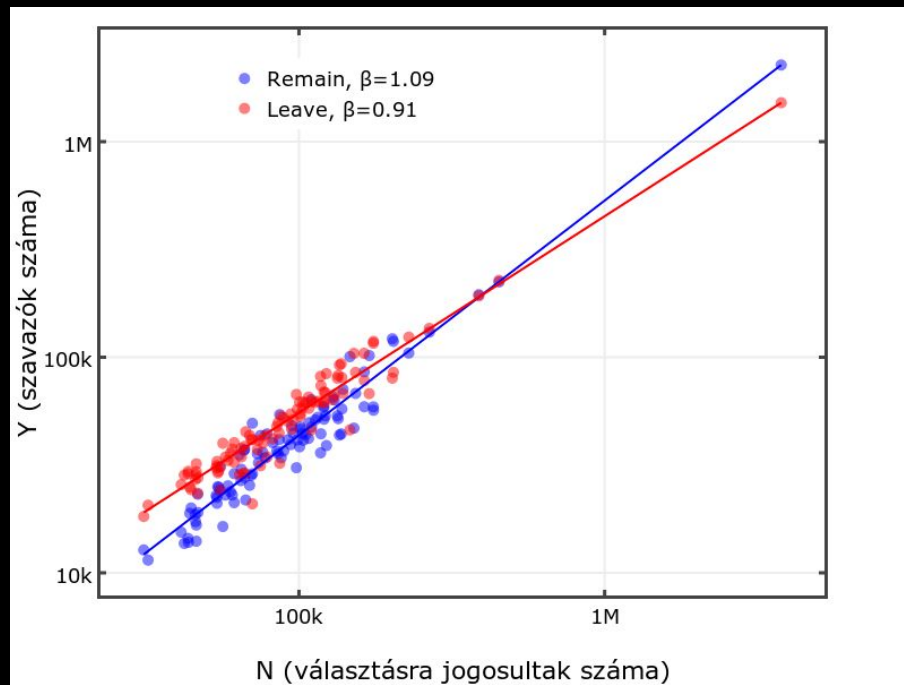
# USA 2016

Vajon igaz-e a  
skálatörvény?

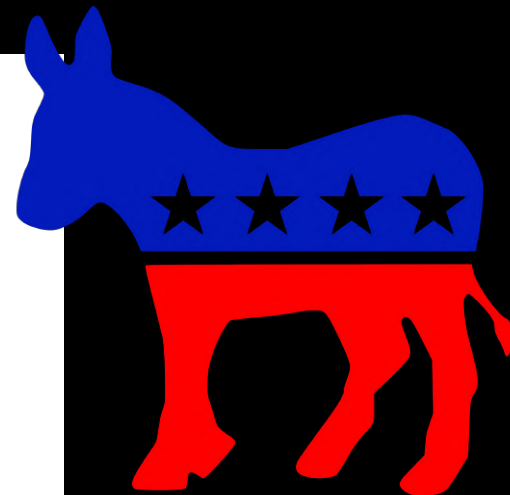
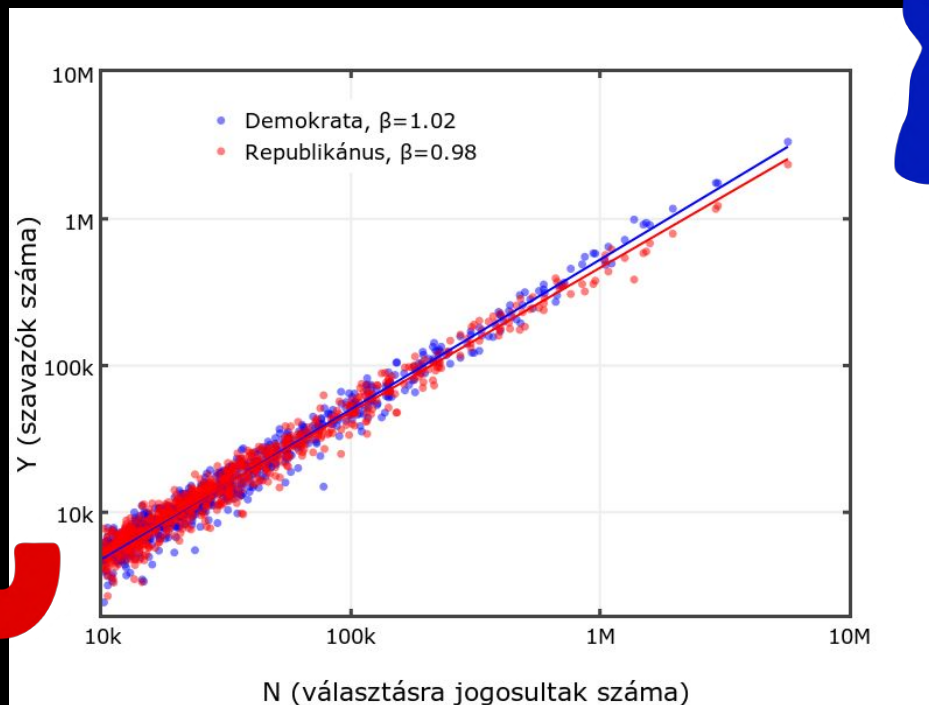
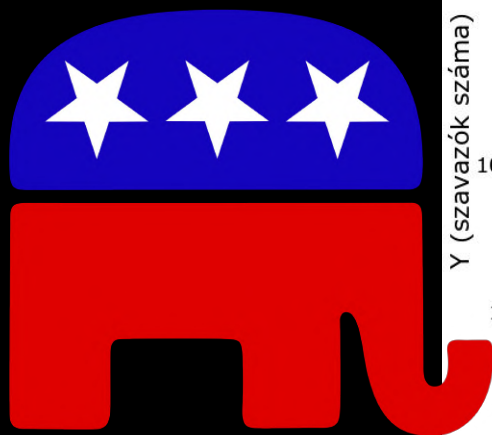
$$Y = Y_0 \cdot N^\beta$$



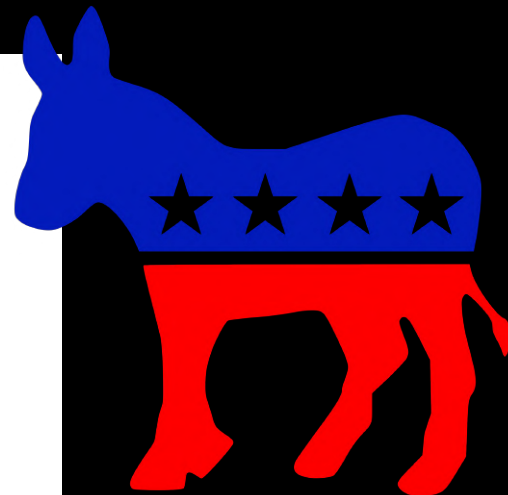
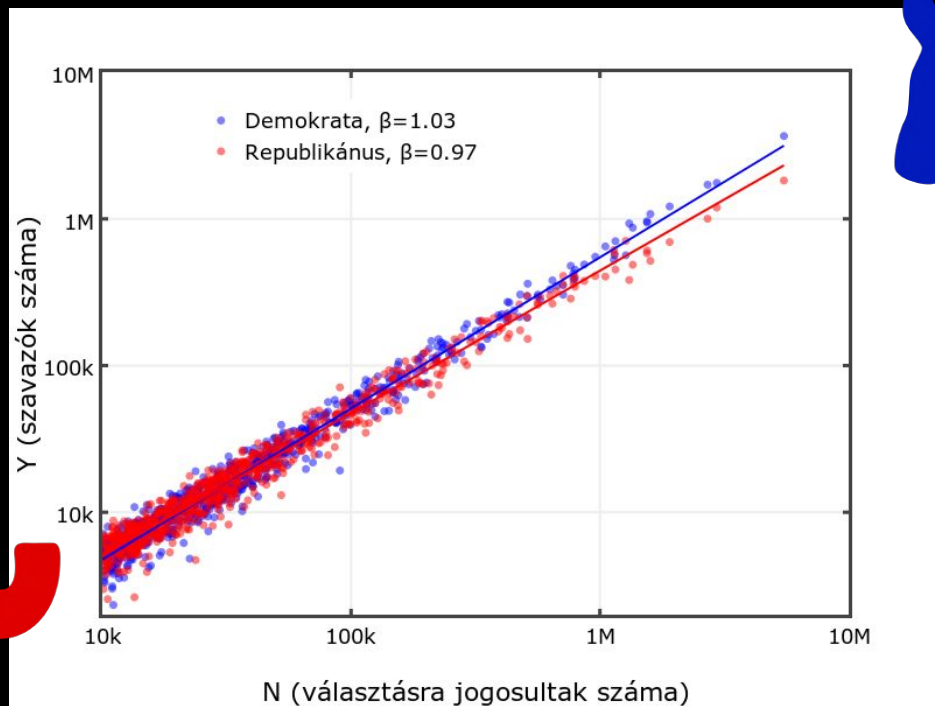
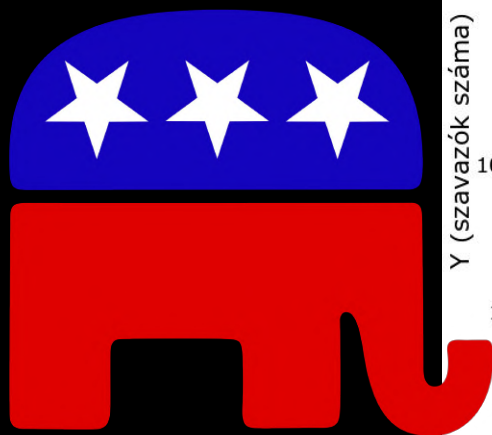
# UK 2016 (térben máshol)



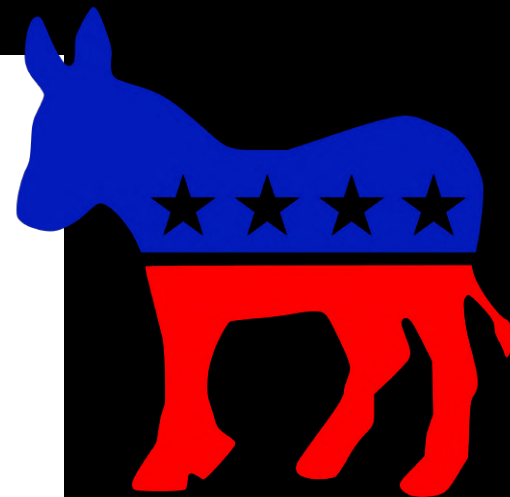
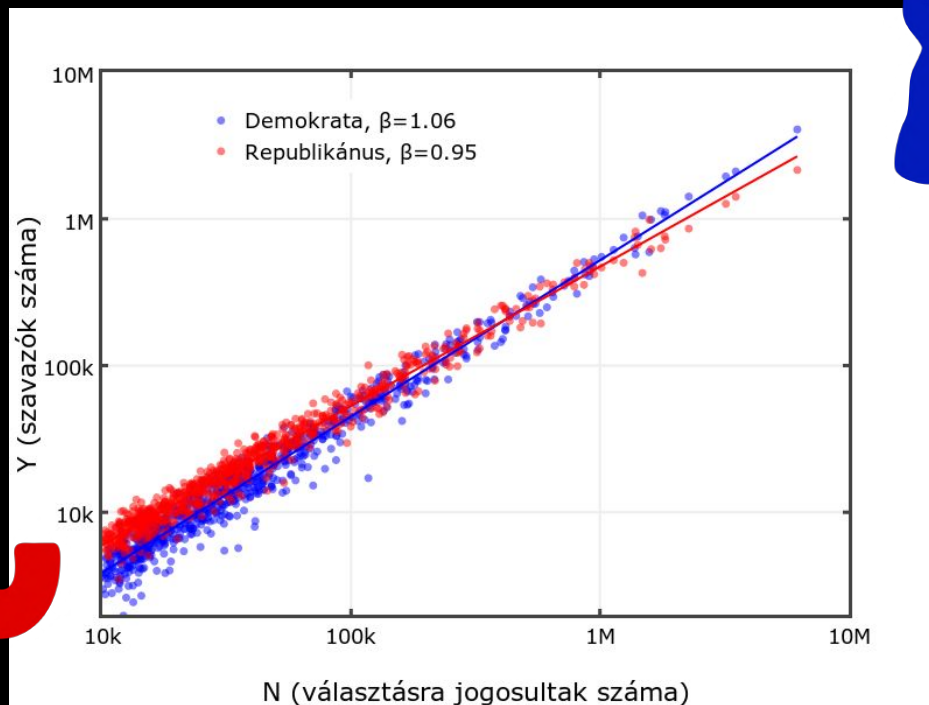
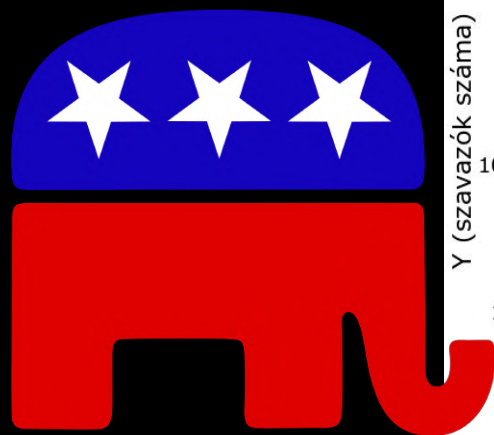
# USA 1992 (időben máshol)



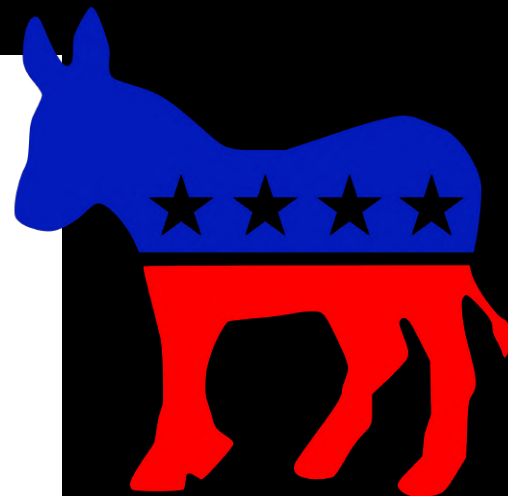
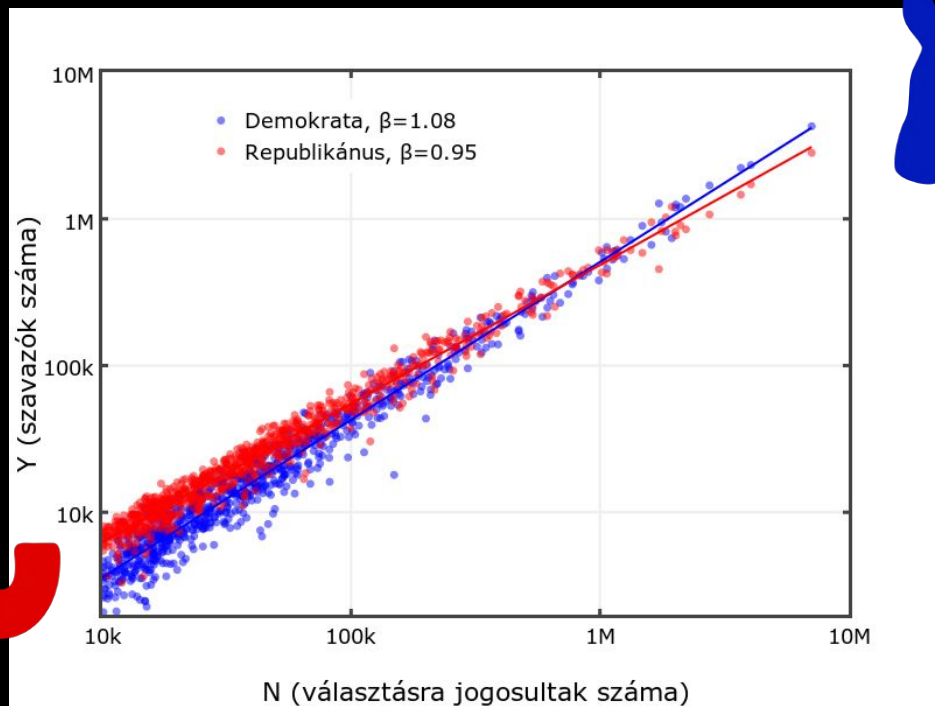
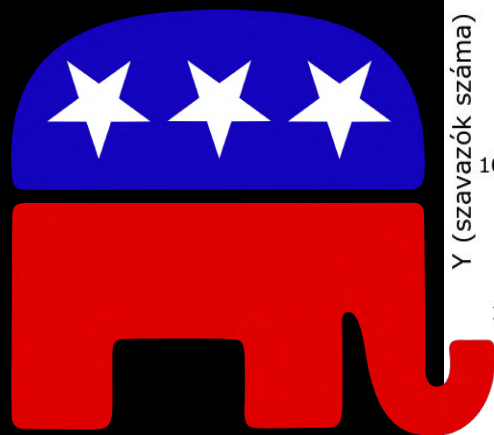
# USA 1996



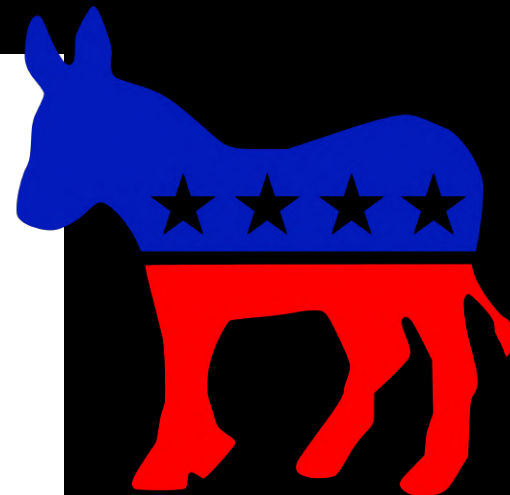
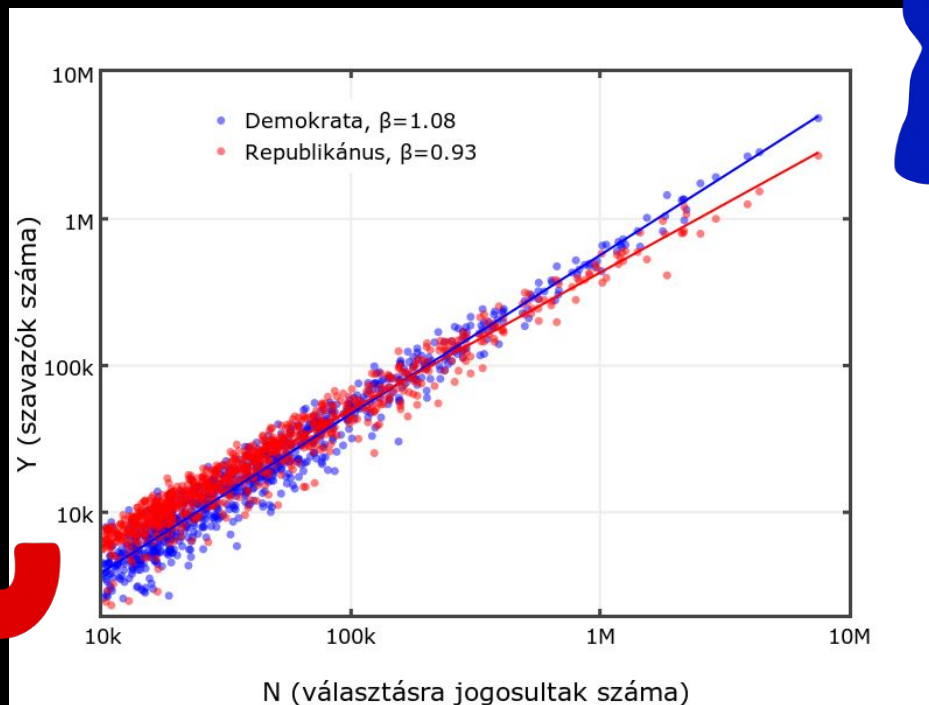
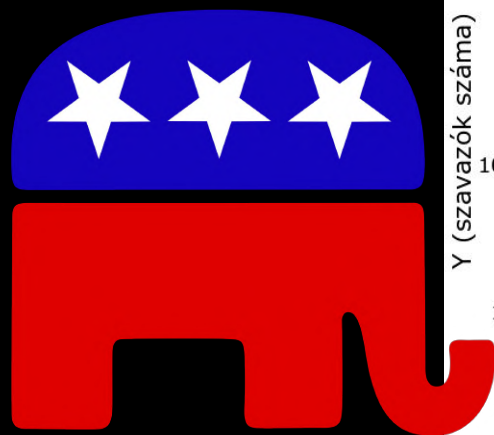
# USA 2000



# USA 2004

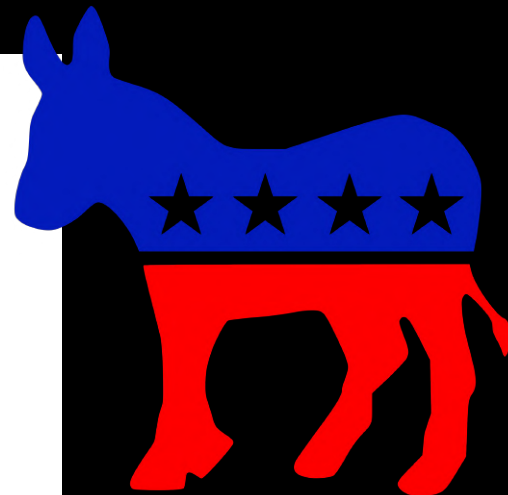
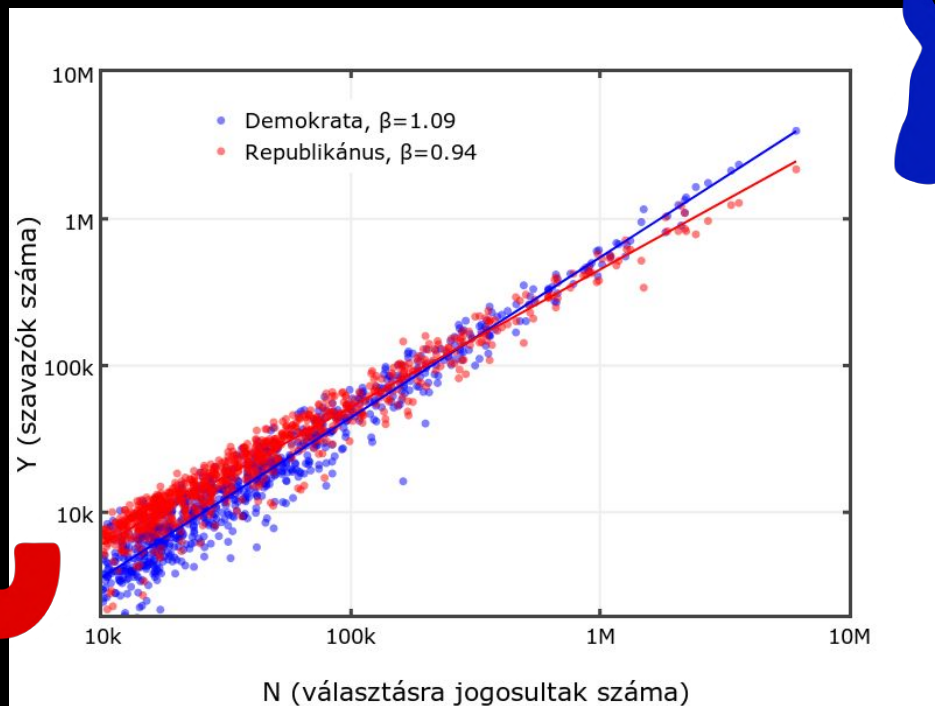
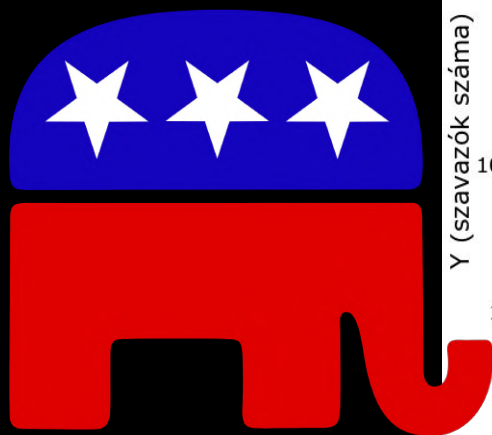


# USA 2008

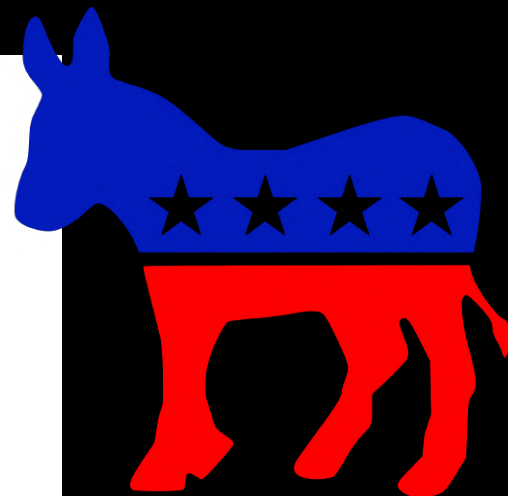
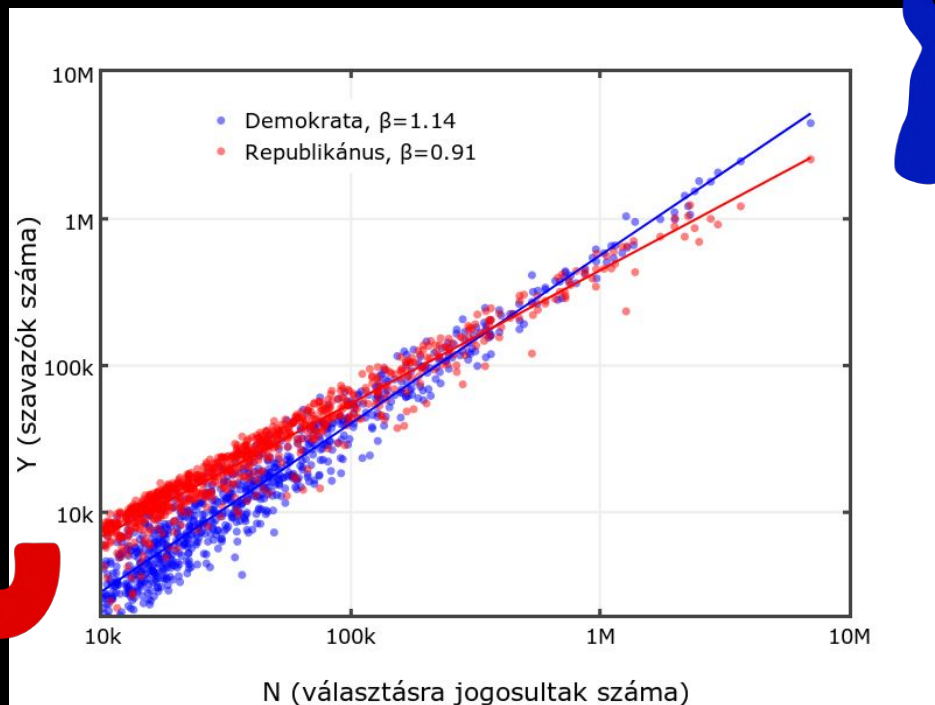
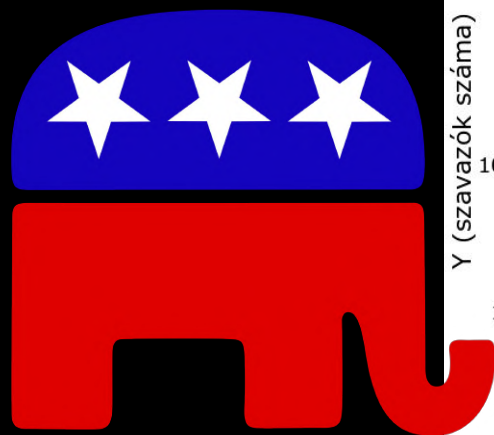




# USA 2012



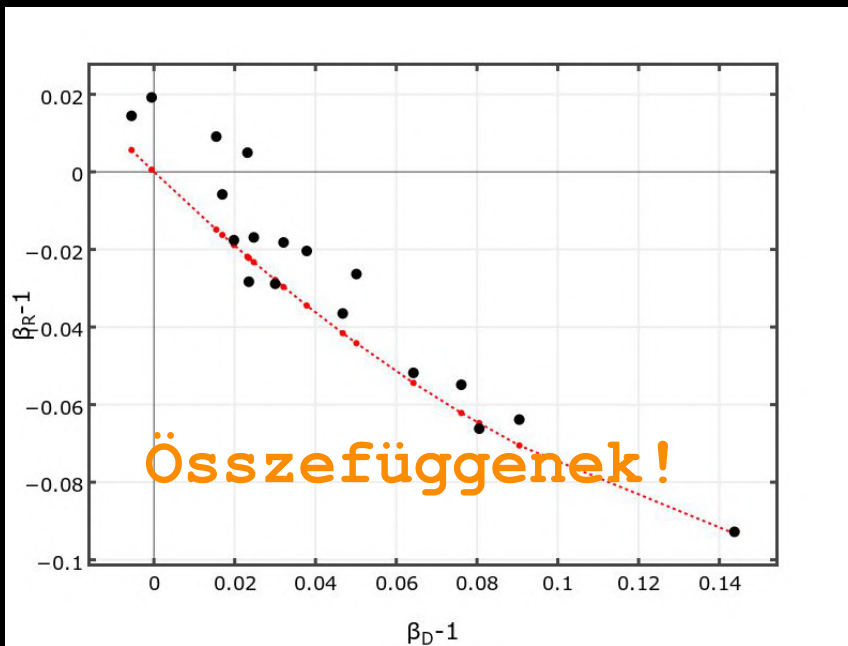
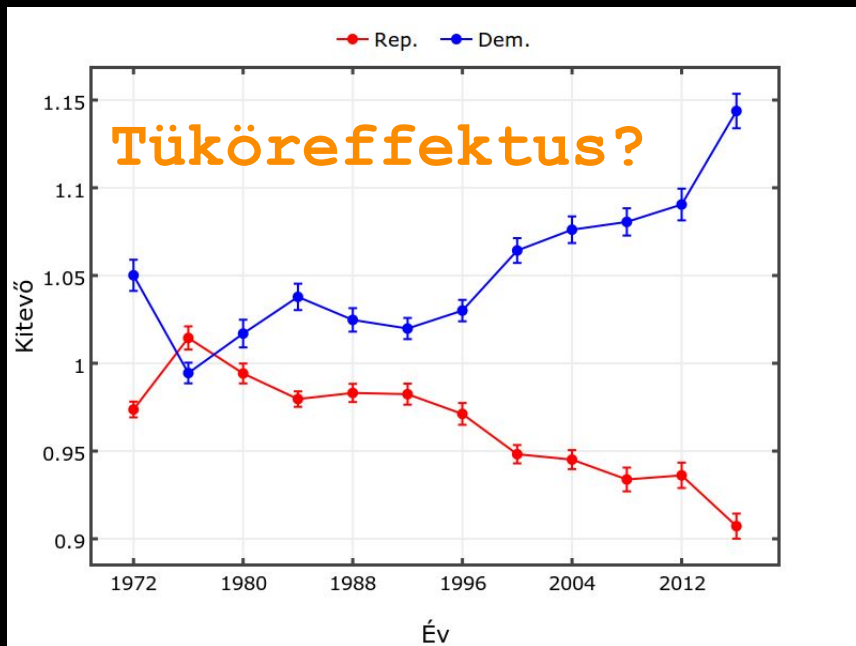
# USA 2016



# Paramétercsökkentés I.

$N_{\text{Dem}} + N_{\text{Rep}} \cong N$  kb. minden városban!

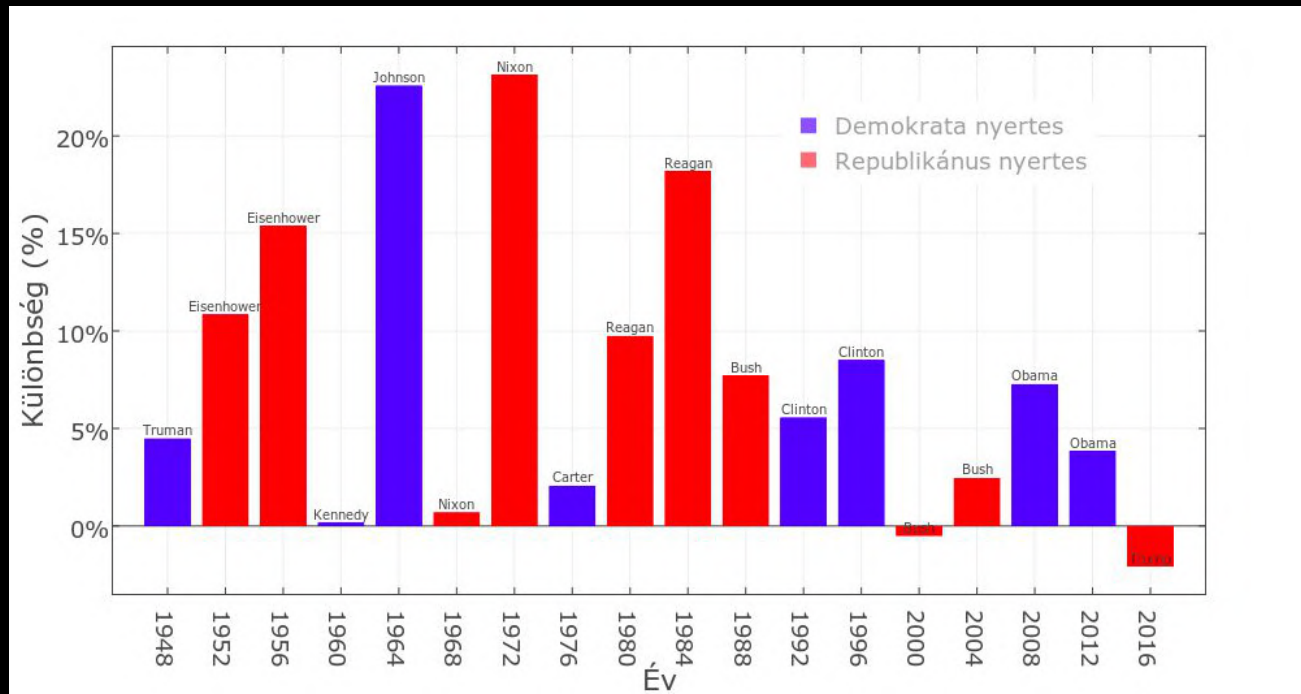
Tehát elég csak az egyik kitevő:  $\beta_{\text{Dem}}$ .



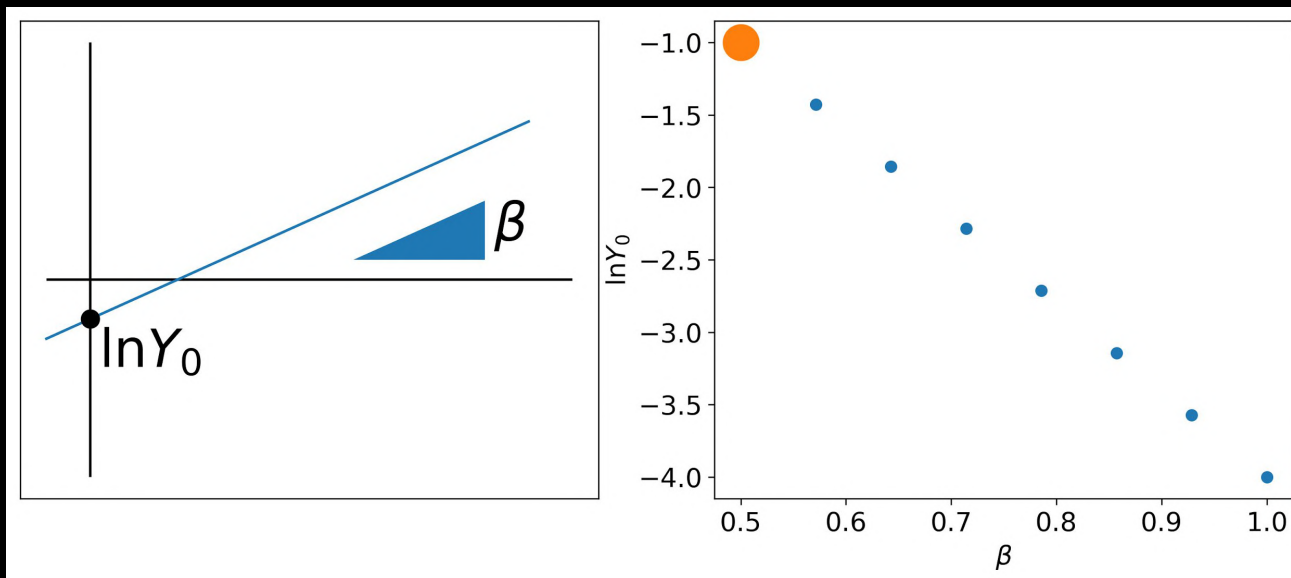
# Kérdések, felvetések

- Ki nyer?
- Részvétel (T)?

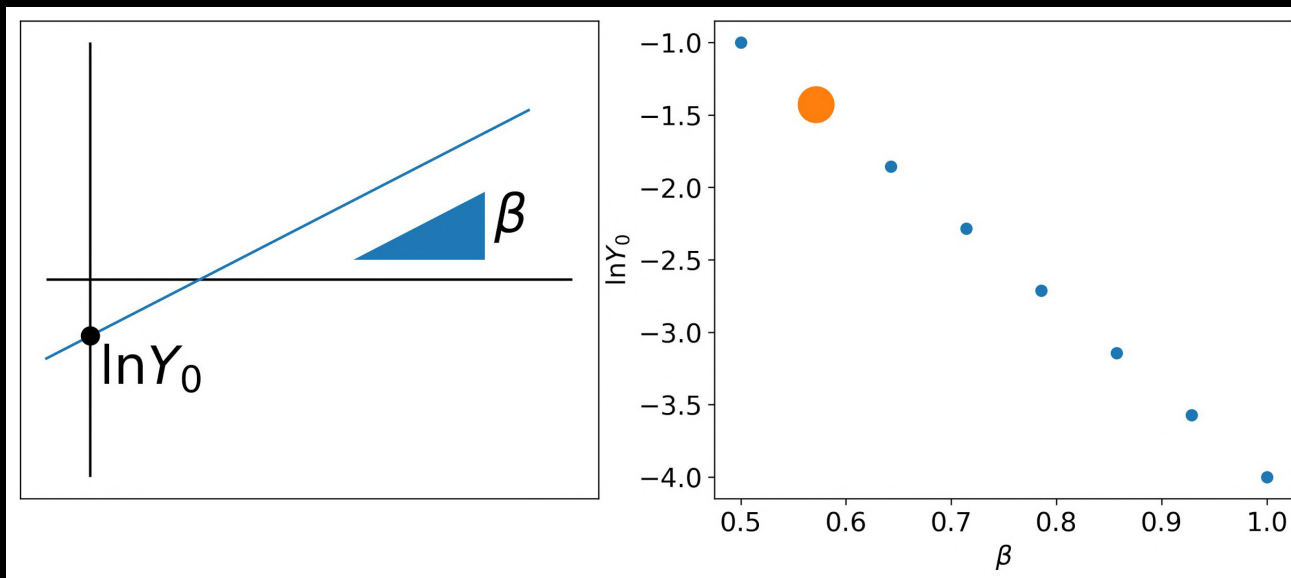
$$T \sim N^1$$



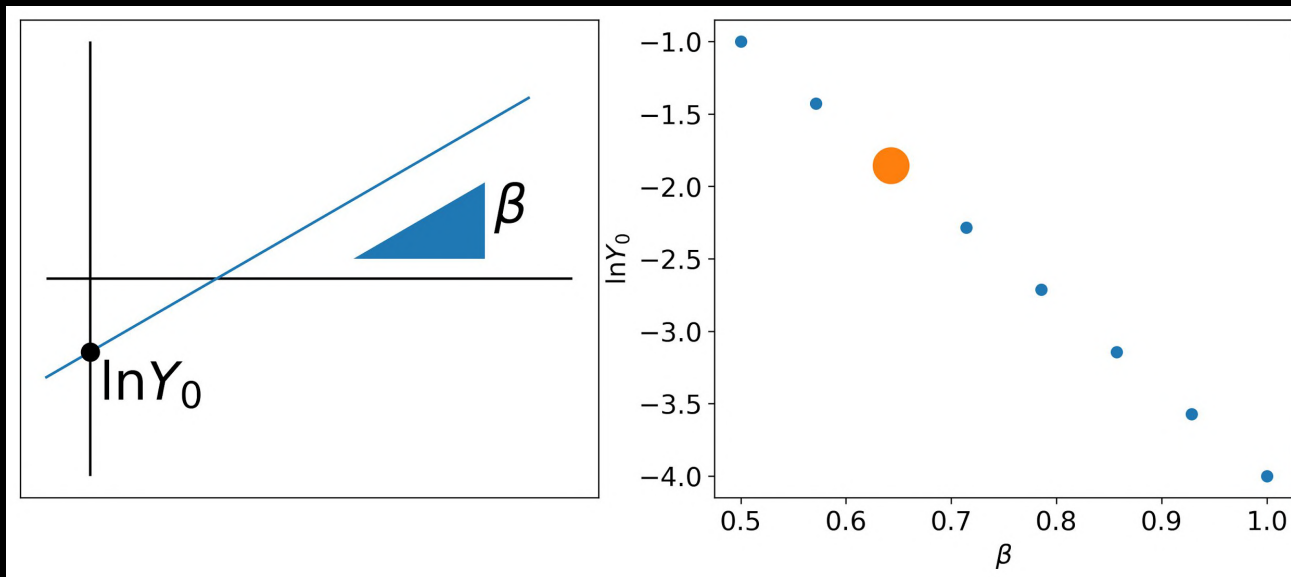
# Paramétercsökkentés II.



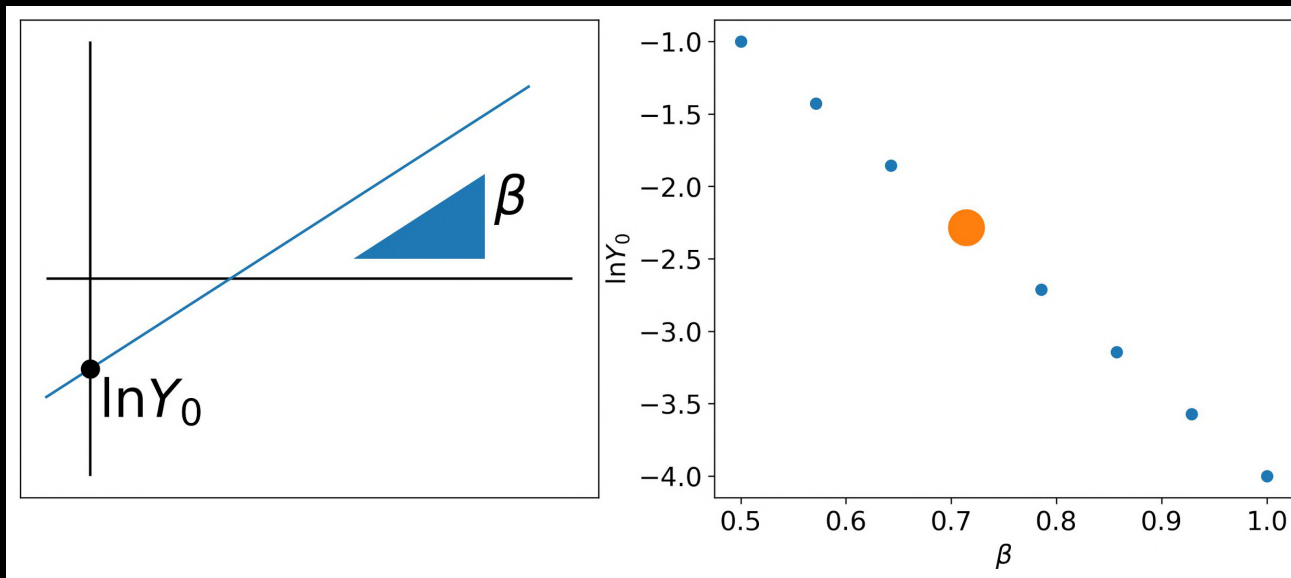
# Paramétercsökkentés II.



# Paramétercsökkentés II.

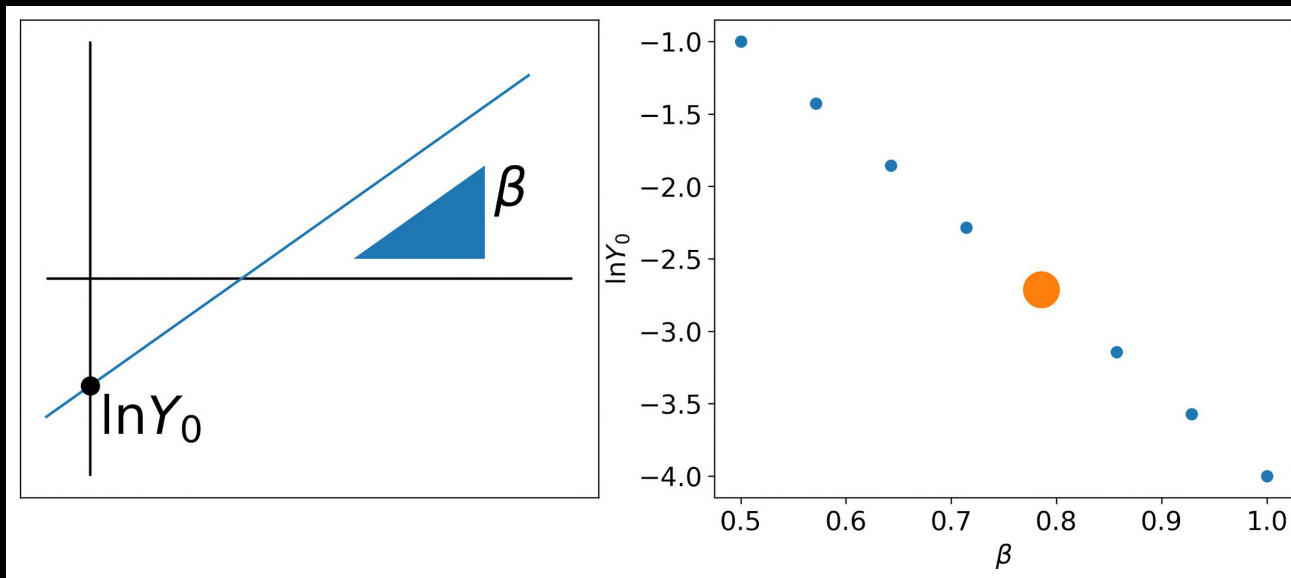


# Paramétercsökkentés II.

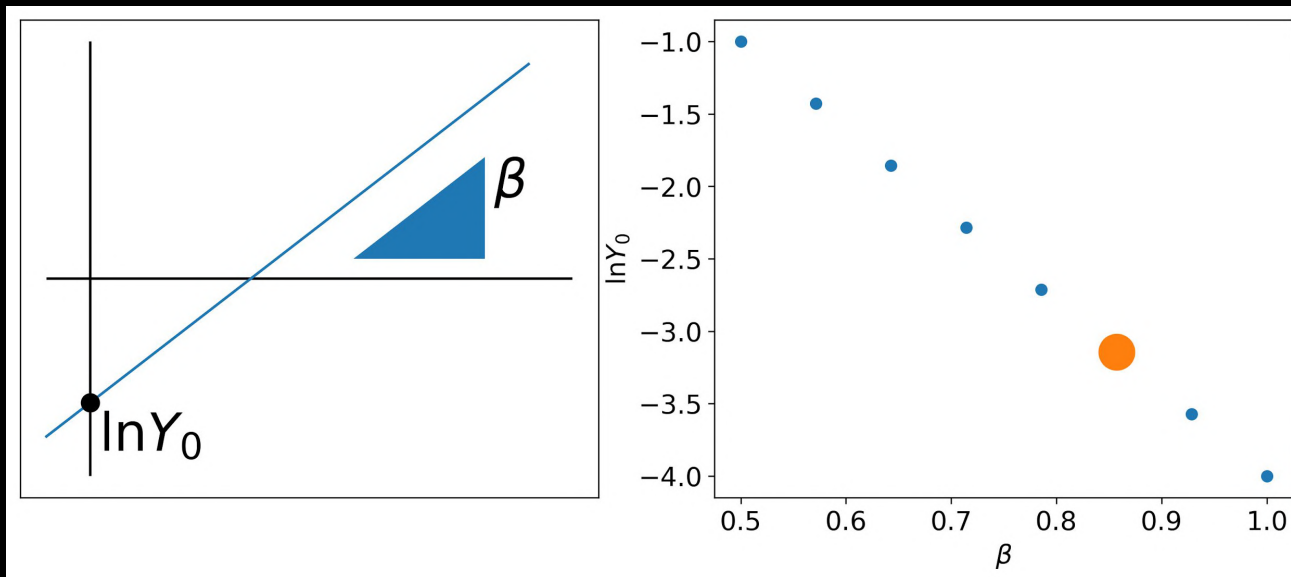




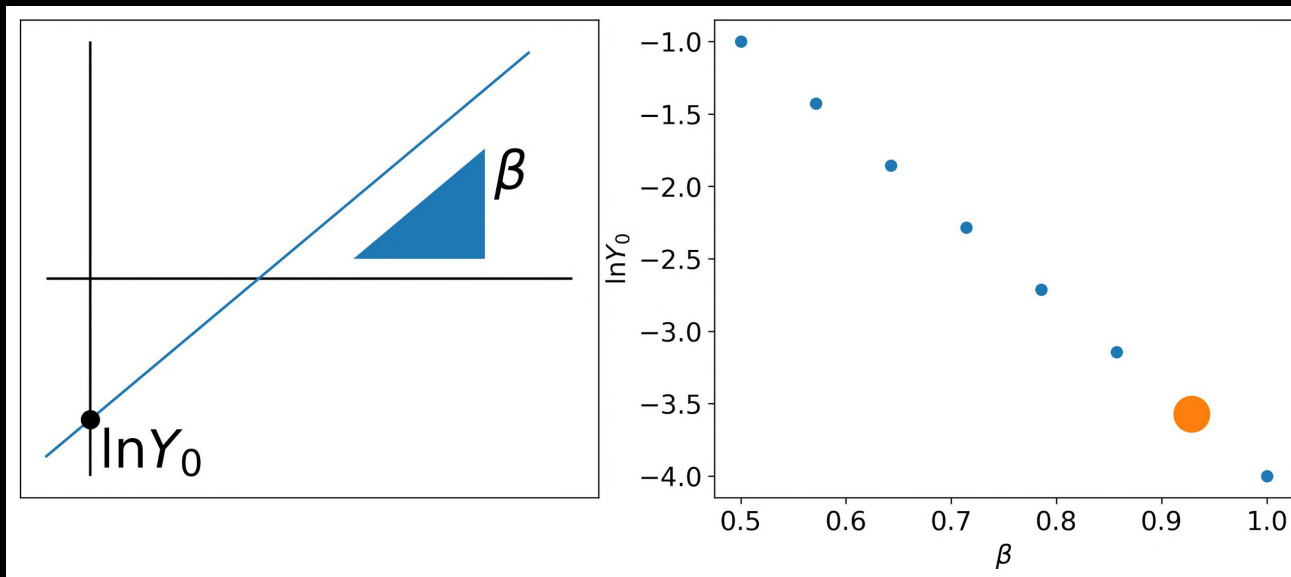
# Paramétercsökkentés II.



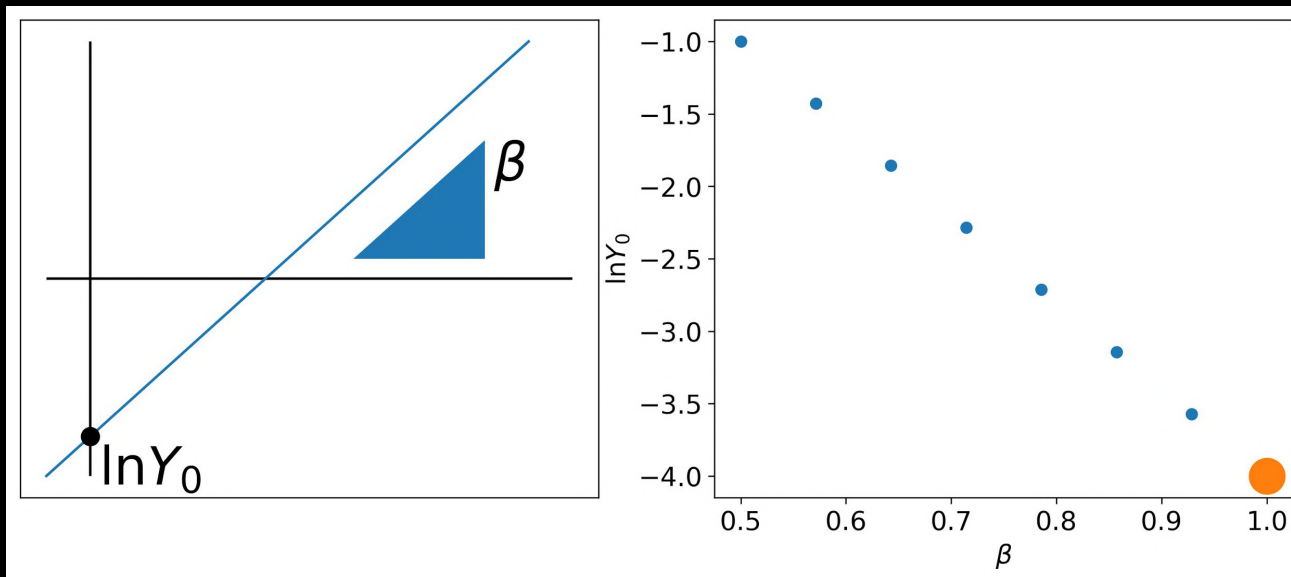
# Paramétercsökkentés II.



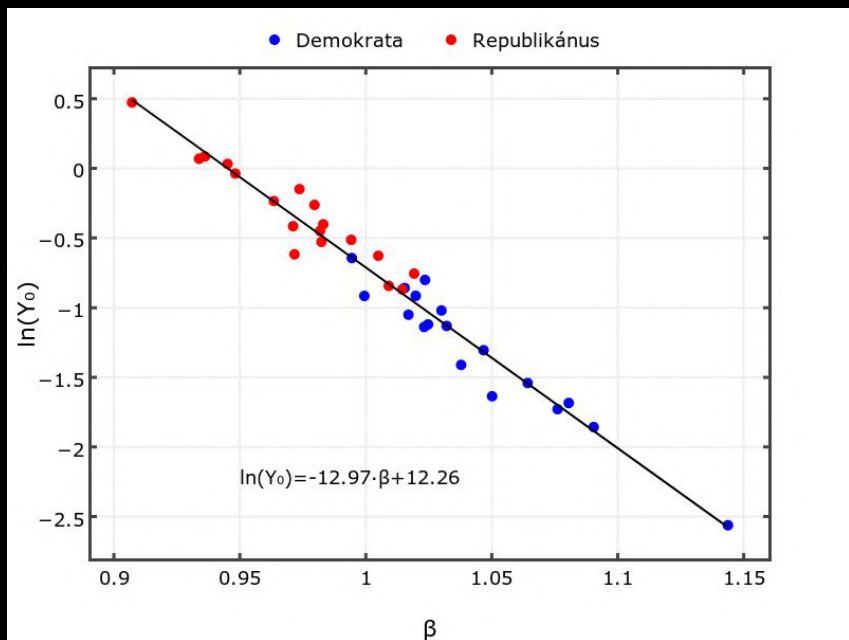
# Paramétercsökkentés II.



# Paramétercsökkentés II.



# Paramétercsökkentés II.



tüköreffektus

$$\beta_{Dem} \rightarrow \beta_{Rep}$$

most

$$\beta \rightarrow Y_0$$

# Modell

"The voting data suggest that people don't make cities liberal -- cities make people liberal."

Josh Kron - The Atlantic



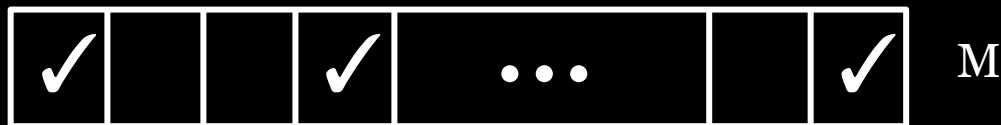
$m$  darab város által közvetített érték, a többi a saját listámon

$$p = (1 - q)^{M-m} \rightarrow Y = N \langle p \rangle_N$$

# Modell

"The voting data suggest that people don't make cities liberal -- cities make people liberal."

Josh Kron - The Atlantic



$$p = (1 - q)^{M-m} \rightarrow Y = N \langle p \rangle_N$$

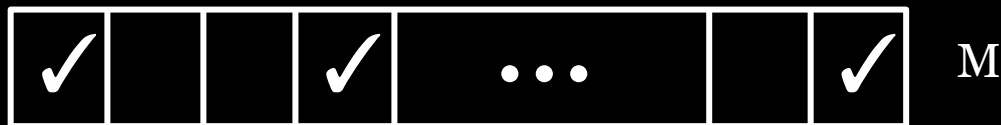
"mikroszkopikus" jelenségek összegzése

$$Y \approx N \cdot e^{qM(1-r(N))} = Y_0 N^\beta$$

# Modell

"The voting data suggest that people don't make cities liberal -- cities make people liberal."

Josh Kron - The Atlantic



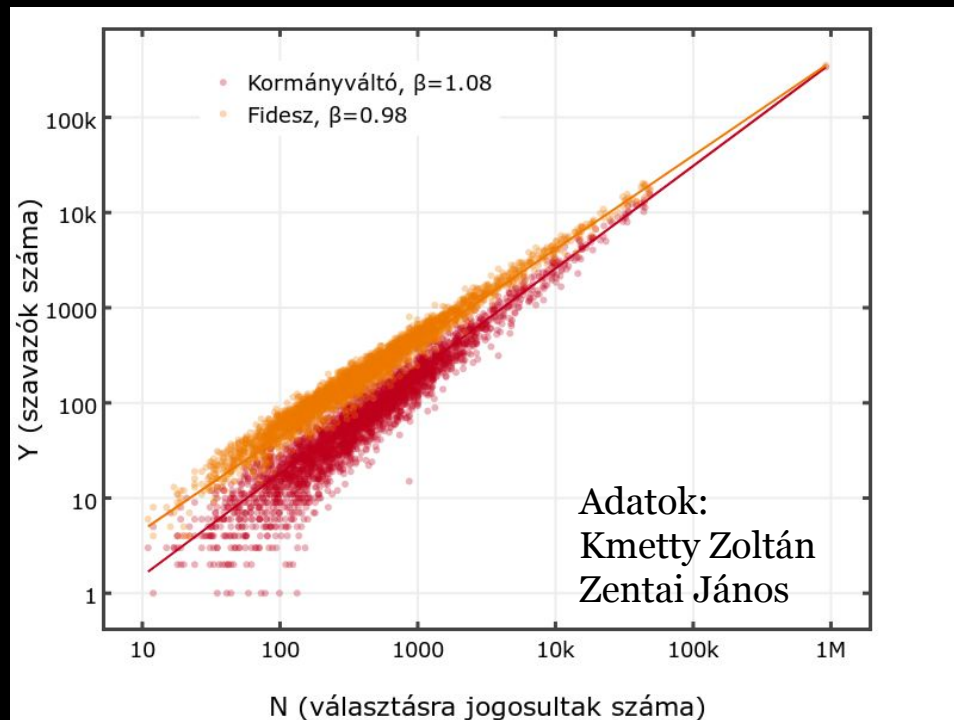
# a városok gáztörvénye



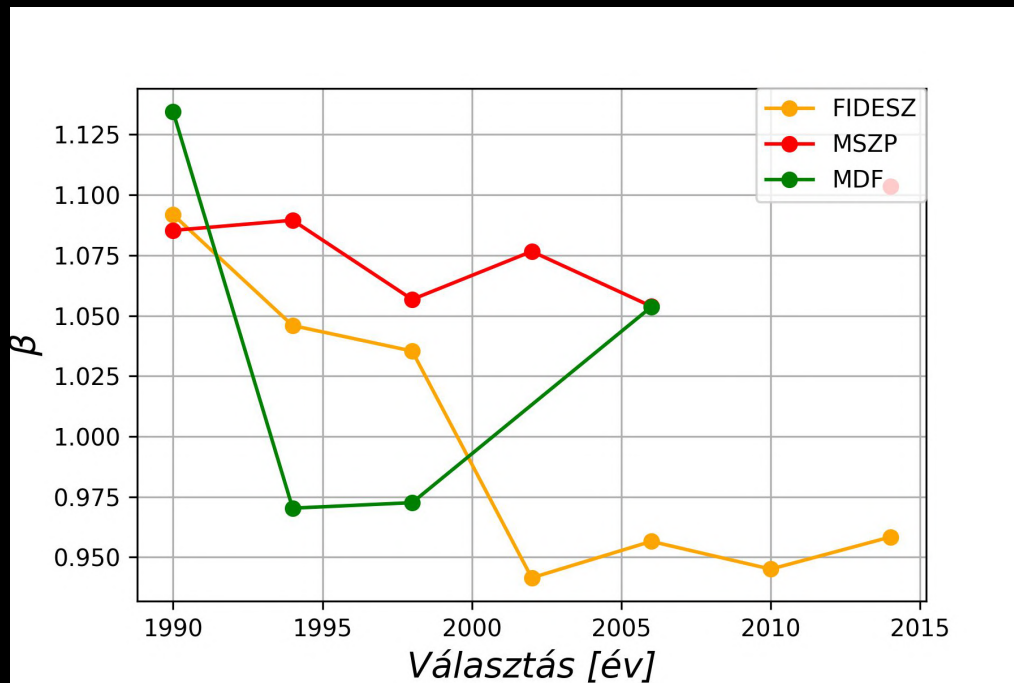
# Hazai terepen



- kis települések?
- sok párt?

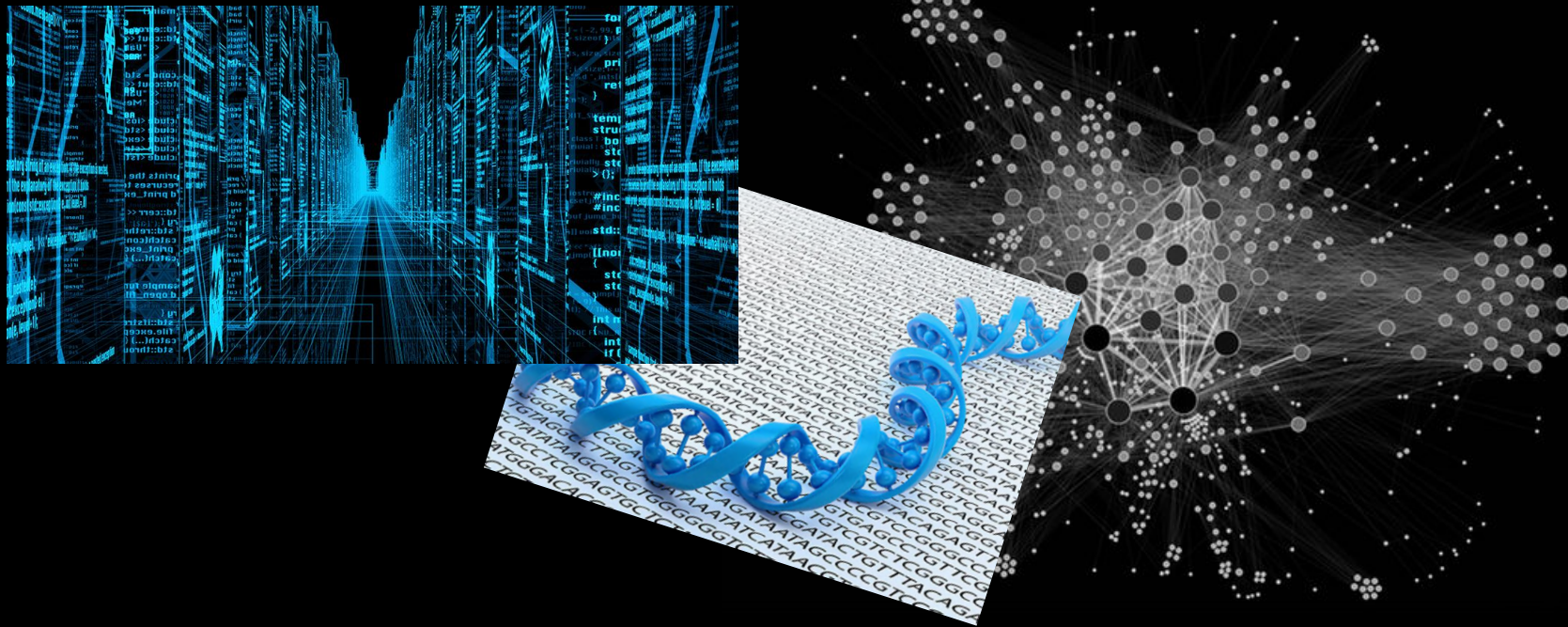


# Hazai terepen



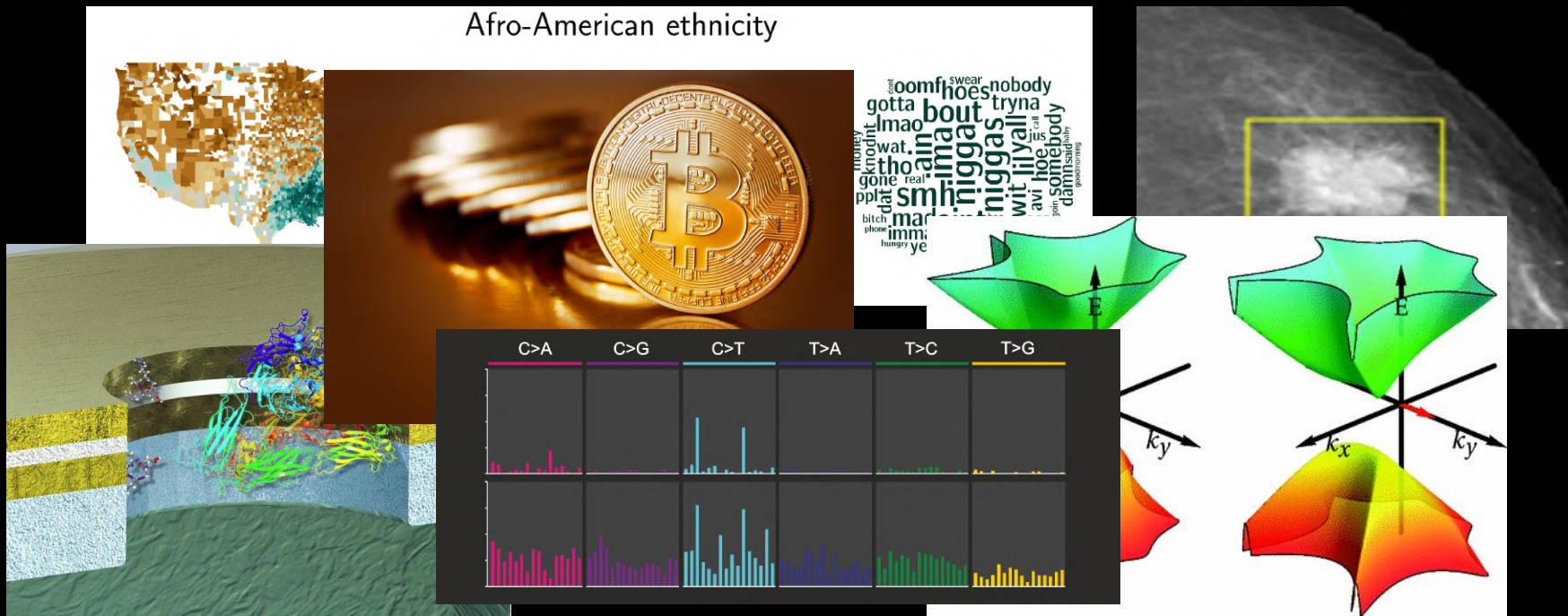
Kép:  
Zentai János

# A fizikai modellezés új kihívásai



# Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

Afro-American ethnicity



# KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!