

AZ ADATALAPÚ KARBANTARTÁSI RENDSZEREK EVOLÚCIÓJA

(szakirodalmi áttekintés és gyakorlati példa bemutatása)

Dr. Ágh Csaba

Adatelemző szakértő, BKV

Dr. Járási Éva Zsuzsanna

Osztályvezető, BKV

VALÓBAN?



„Csak annak
a statisztikának
hiszek, amit én
hamisítok.”



AZ ADAT / INFORMÁCIÓ ÖNMAGÁBAN MÉG NEM TUDÁS!



**HOGYAN
KELETKEZETT?**

Módszer, forrás,
minőség



**HONNAN
SZÁRMAZIK?**

Környezet,
érdekeltségek



**MENNYIRE
MEGBÍZHATÓ?**

Pontosság,
korlátok



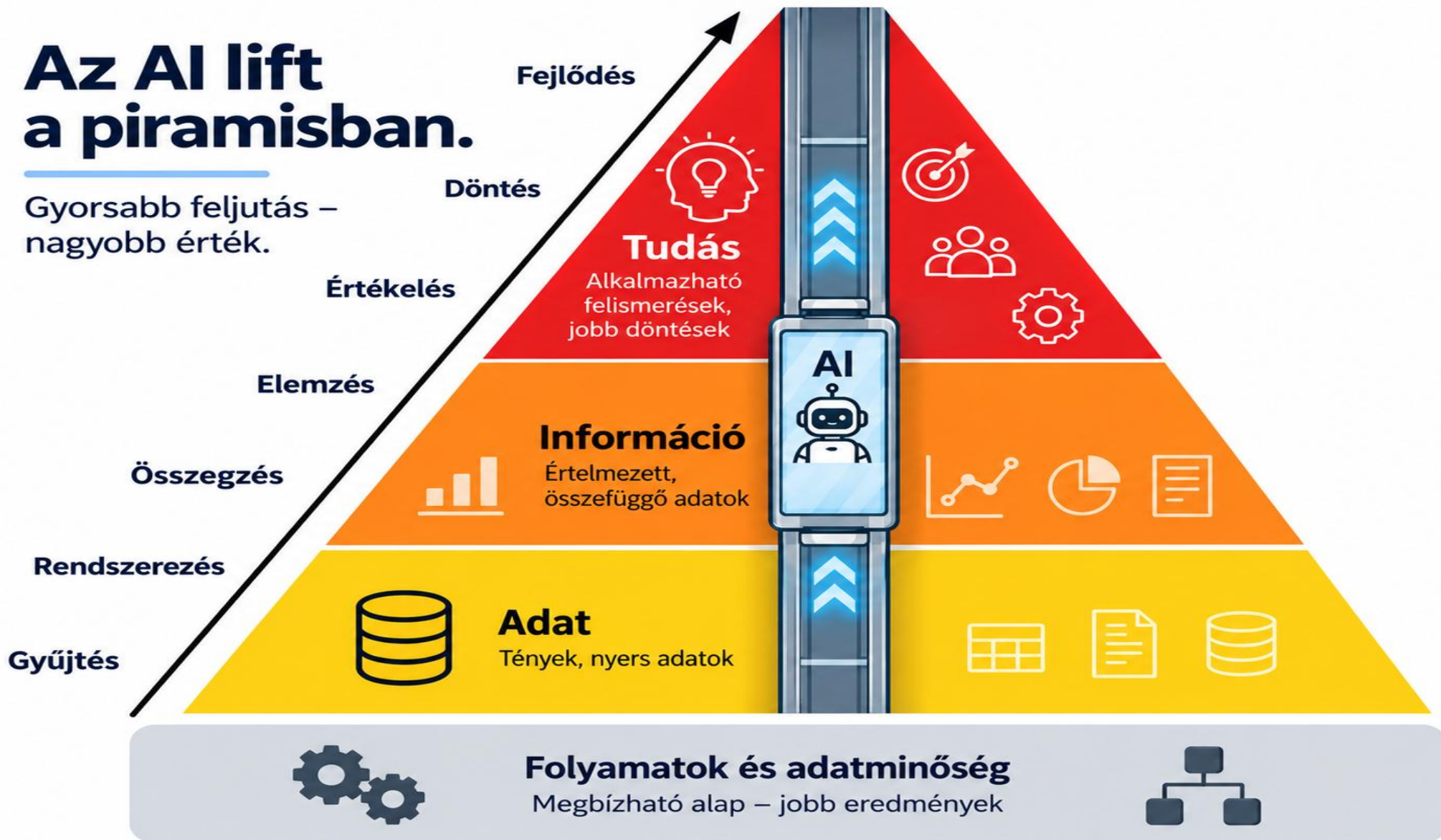
**MIT JELENT
PONTOSAN?**

Értelmezés,
döntési kontextus

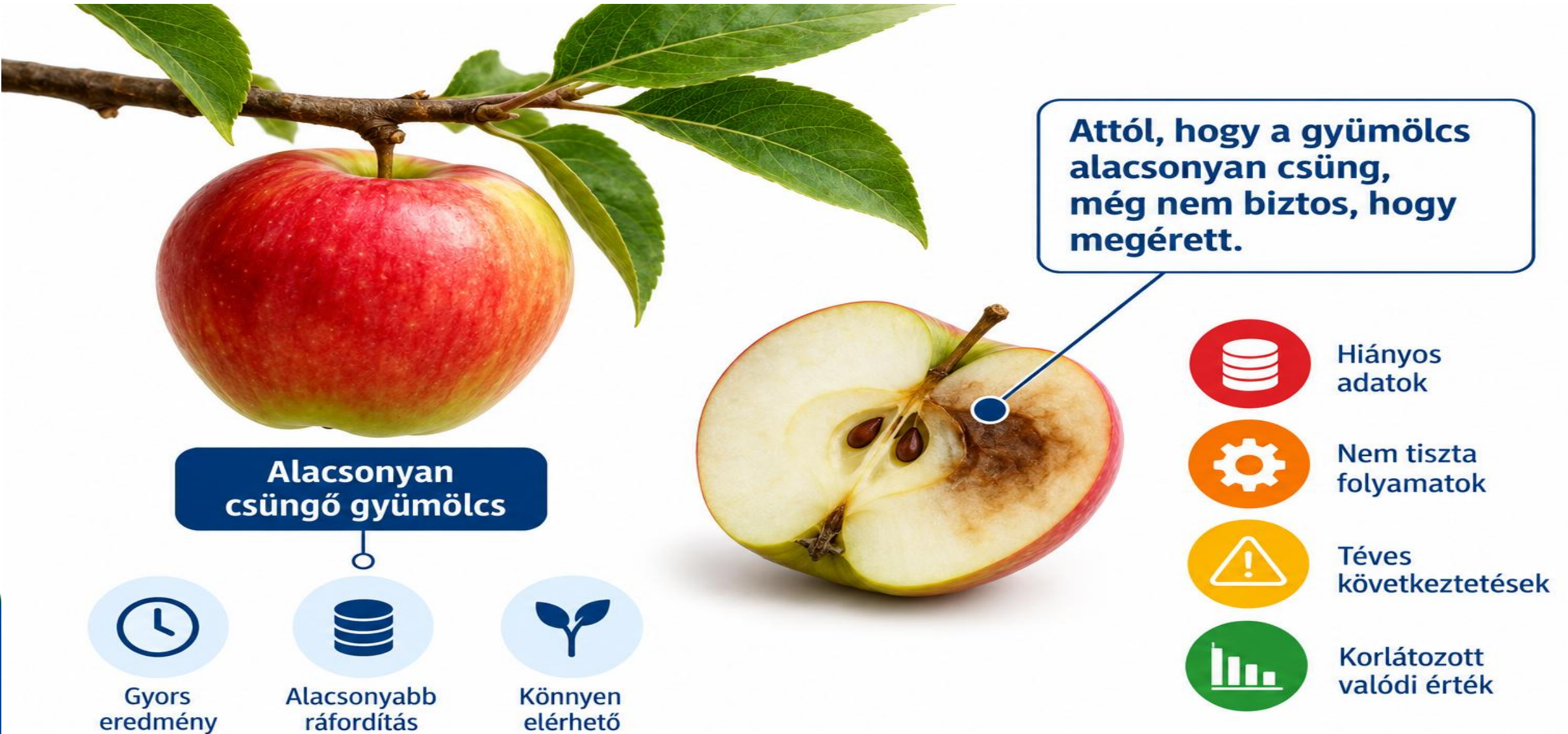
CÉL: AZ ADATBÓL FEJLŐDÉS LEGYEN!!!

Az AI lift a piramisban.

Gyorsabb feljutás –
nagyobb érték.



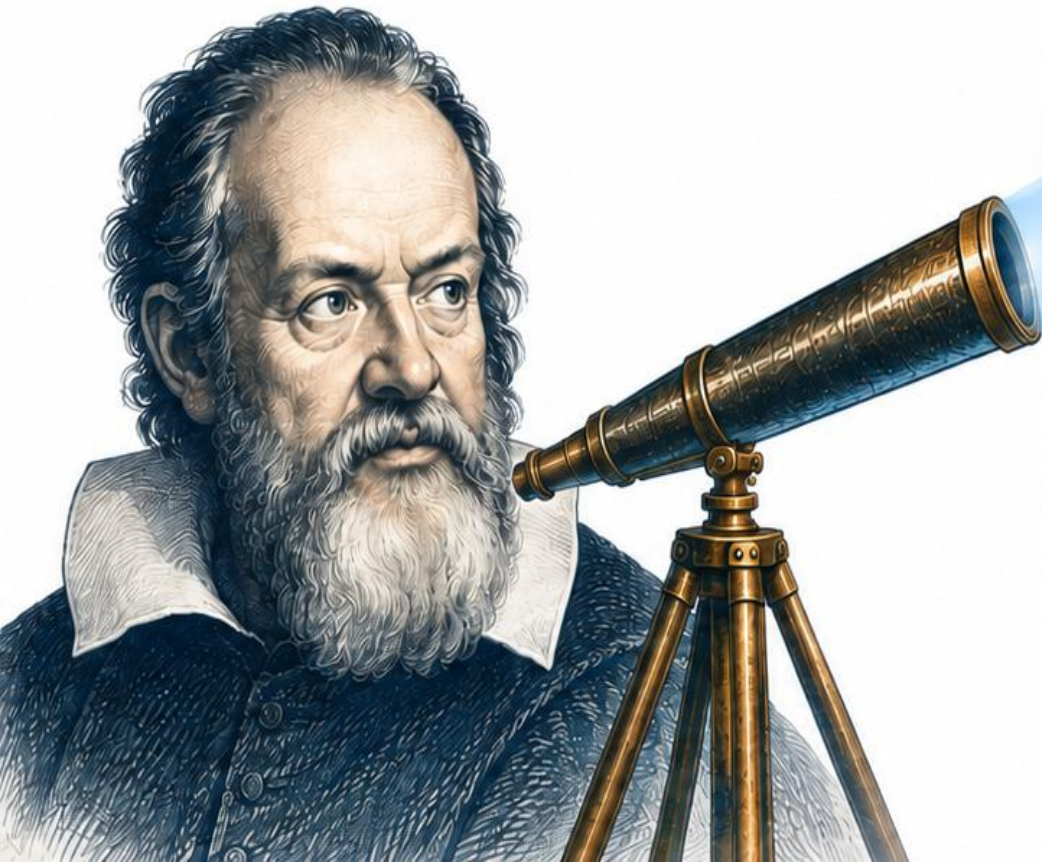
Miért van szükség felülvizsgálatra?



„A világegyetem könyve a matematika nyelvén íródott.”

– Galileo Galilei

Il Saggiatore, 1623



Karbantartási stratégiák



Hibáig üzemeltetés
(reaktív)

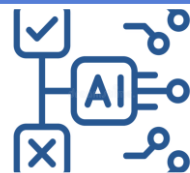


Tervszerű megelőző karbantartás
(preventív)

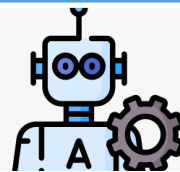
Állapotfüggő
karbantartás



előrejelző
(prediktív)



előíró
(preskriptív)



önfenntartó
(robotizált)

Hibrid
rendszer



Hibáig üzemeltetés (reaktív)



Karbantartási stratégiakombináció választása

- Kockázatértékelési mátrix alapján:

Előfordulás \ Súlyosság	Katasztrofális	Kritikus	Mérsékelt	Elhanyagolható
	magas kockázat			
Gyakori	magas kockázat			
Valószínű				
Alkalmankénti	közepes kockázat			
Ritka				
Valószínűtlen	alacsony kockázat			

USA Department of Transportation, Federal Transport Administration (2019): Sample Safety Risk Assessment Matrices for Rail Transit Agencies

- Minimalizálandó: **hosszú távú, átlagos költség** üzemóránként. Összetevői:
 - karbantartások költsége + bekövetkező hibákból eredő kár várható értéke
 - + diagnosztika és adatelemzés költsége

Poppe, J., Boute, R. N., & Lambrecht, M. R. (2018): A hybrid condition-based maintenance policy for continuously monitored components with two degradation thresholds. *European Journal of Operational Research*, 268(2), 515-532.



Tervszerű megelőző karbantartás (preventív)

- 1. példa: ajtómozgató alkatrészek
kenése, cseréje;
ciklusidő-optimalizálás

Sun, H., & Lao, Z. (2024): Preventive maintenance for key components of metro door system based on improved dung beetle optimizer algorithm.
Journal of Failure Analysis and Prevention, 24(1), 424-435.

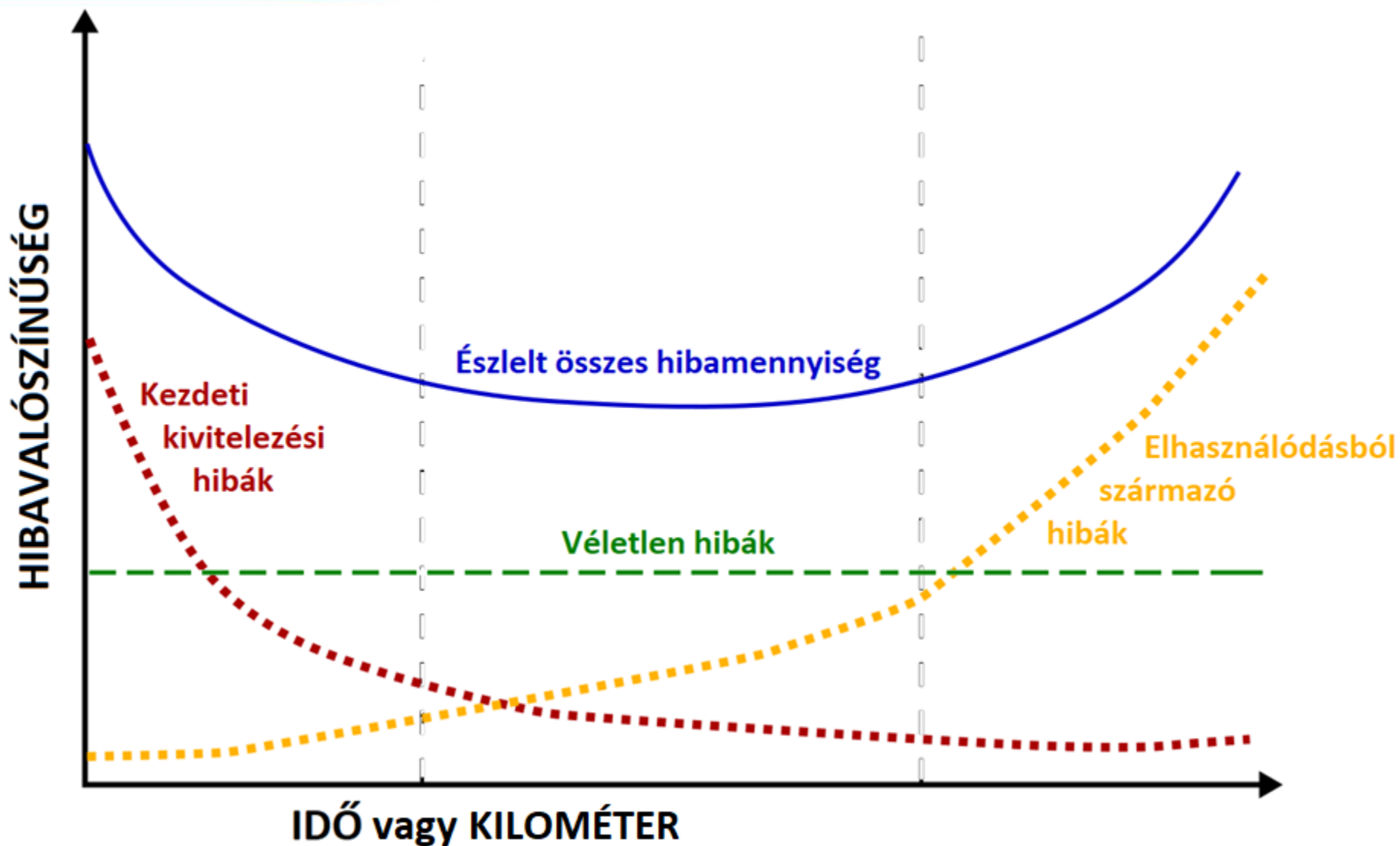


- 2. példa: villamoshálózat sín- és
kitérőcseréi, vágányszabályozási és
köszörülési munkái;
adott ciklusidő mellett
munka-összehangolás

Kiefer, A., Schilde, M., & Doerner, K. F. (2018): Scheduling of maintenance work of a large-scale tramway network.
European Journal of Operational Research, 270(3), 1158-1170.



A hibaelőfordulások kádgörbéje



Klutke, G. A., Kiessler, P. C., & Wortman, M. A. (2003). A critical look at the bathtub curve. *IEEE Transactions on reliability*, 52(1), 125-129.



Előrejelző karbantartás

(prediktív)



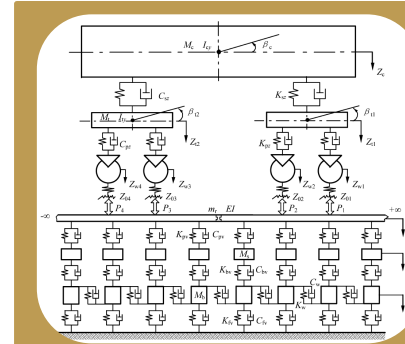
„Meglévő”
adatok

- műszaki alapadatok
- karbantartási adatok
 - **pl. javítások listája**
- üzemeltetési adatok
 - **pl. járművek fedélzeti számítógépei**



Szenzoradatok

- kép, videó
- elektromos jellemzők
- akusztika, rezgés
- gyorsulás, erő
- hőmérséklet
- elmozdulás, deformáció
- hely (GPS/GNSS)



Fizikai
modellek

Binder, M., Mezhuyev, V., Tschandl, M. (2023):
Predictive maintenance for railway domain: A systematic literature review.
IEEE Engineering Management Review, 51(2), 120-140.



Előrejelző karbantartás (prediktív)

infrastruktúrába épített
szenzorok

- **az összes járművet**
diagnosztizálják

Példa: hőnfutásjelző és
kerékszkenner (Bilbao, metró)



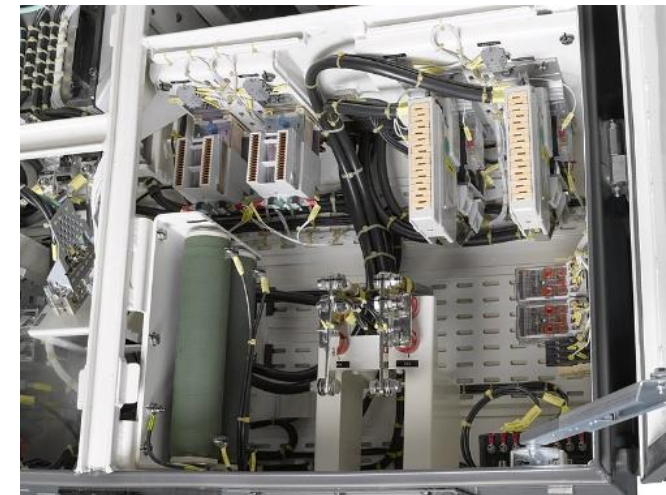
járműbe épített szenzorok

- **az infrastruktúrát és/vagy az adott járművet**
diagnosztizálják

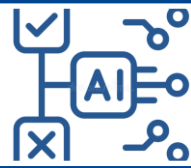
Példa: BKV mérővillamosa



Példa: hajtásinverter-
hibaelőrejelzés (tesztelés alatt)



Wei, X., Wang, Z., Yao, B., Peng, Y., Sun, Y., Wang, K., & Wang, H. (2025): A converter-level health monitoring method for traction inverter application. *IEEE Transactions on Power Electronics* 41(6)



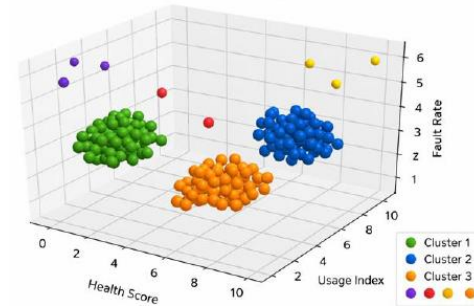
Diagnosztikai megoldások

- intelligens 3D-panoráma-kamerarendszer
- további szenzorok



Mesterséges intelligenciát használó szakértői rendszer

- rendellenes vonatviselkedés észlelése (pl. klaszterezéssel)
- élettartam-előrejelzés (pl. relék kapcsolási száma alapján)



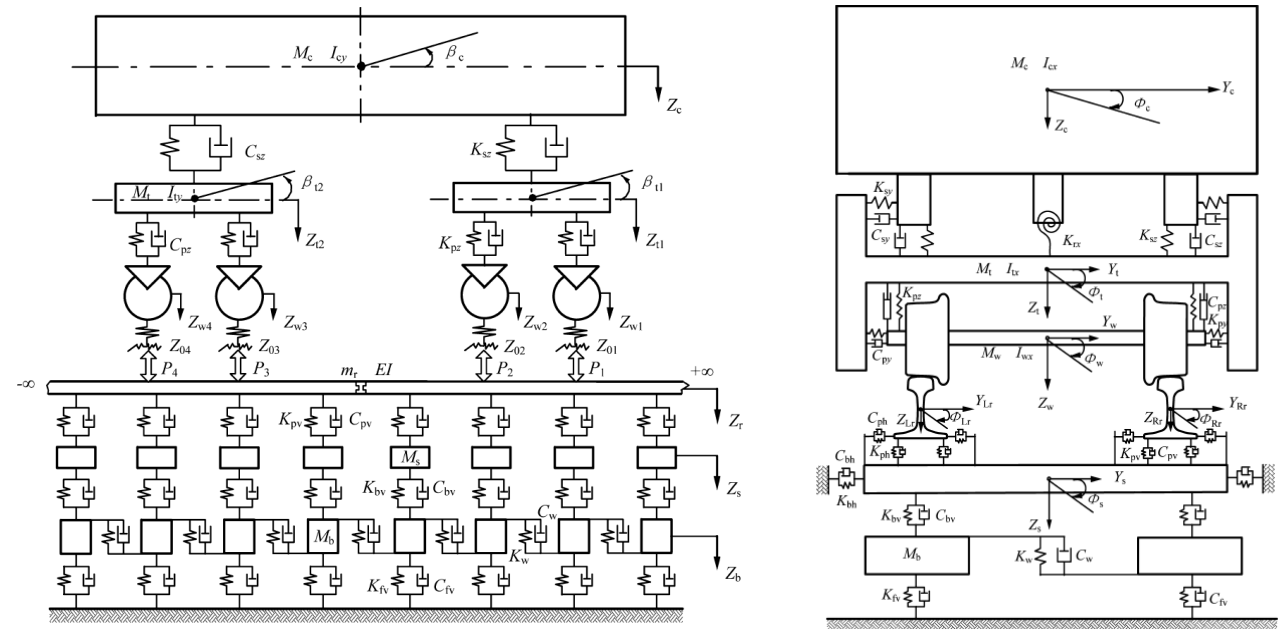
Digitális telephelyi karbantartási rendszer

- karbantartások teljes folyamatának digitalizált, információalapú irányítása
- karbantartók számára javaslatok a hibák elhárítására
- hibajelentések rögzítése hangfelismeréssel



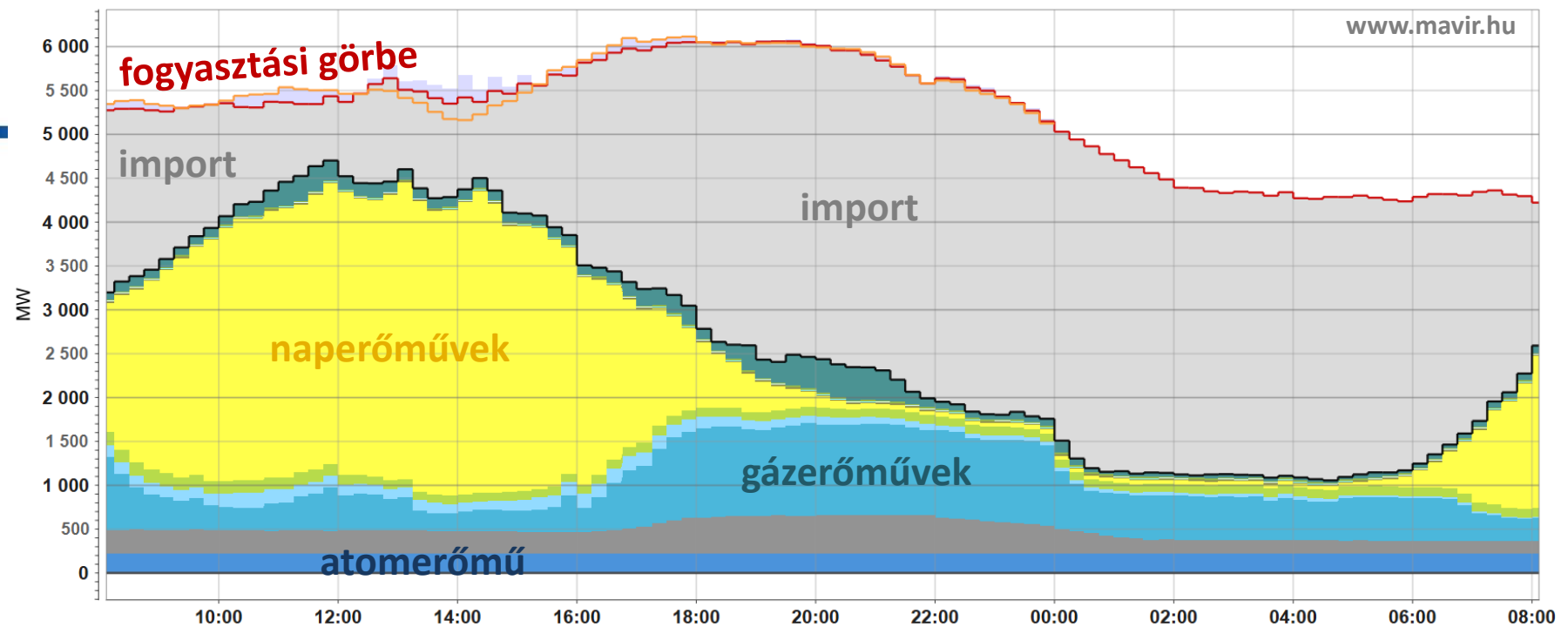
Örök dilemma: biztonság $\Leftrightarrow$ hatékonyság

- emberi döntés, emberi felelősség

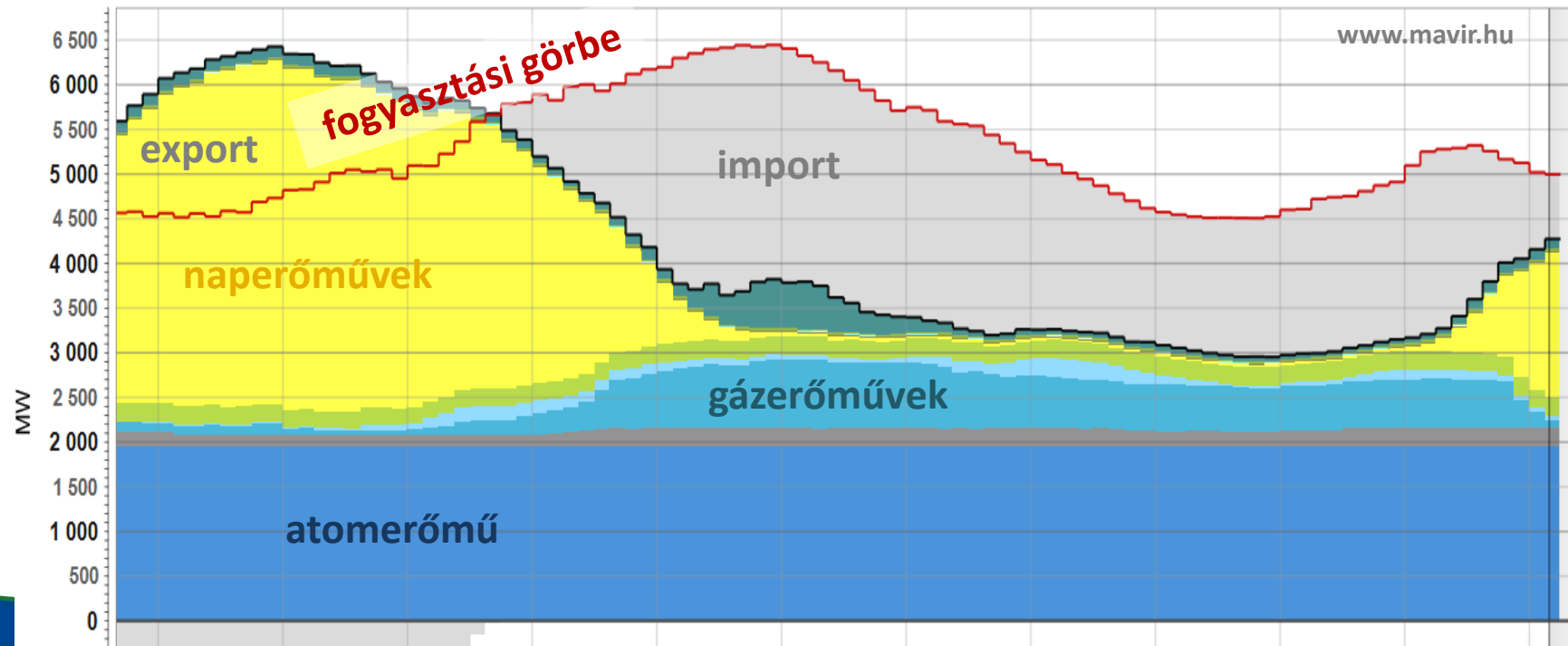


Adataalapúság

magyar energiamix,
2026. augusztus 7-8.



magyar energiamix,
2026. aug. 31.-szept. 1.

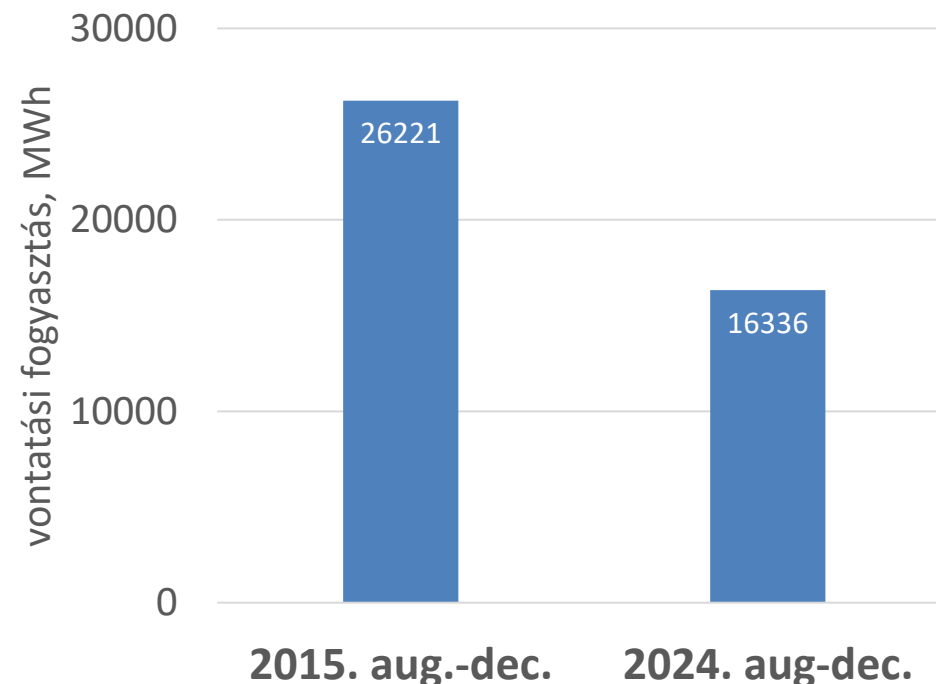


M3-as metró fékárám-visszatermelésének előnyei

- M3 metró vontatási energiafelhasználása az energetikai korszerűsítés előtt és után 5 hónapos időintervallumban:



Héri József (2025): Energiamegtakarítás az M3 metró vontatási hálózatában.
X. Energiahatékonysági Szakmai Fórum, Budapest, 2025.10.14.



$$(26221 \cdot 10^3 \text{ kWh} - 16336 \cdot 10^3 \text{ kWh}) \cdot 70 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = 691\,950\,000 \text{ Ft}$$

(5 hónapra)

- Éves megtakarítás: **kb. 1,5 milliárd Ft**

Köszönjük megtisztelő figyelmüket!