

Átalakuló európai energiasztratégia – fókuszban a dekarbonizációval és az ellátásbiztonsággal

Prof. Dr. Aszódi Attila, Biró Bence

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Természettudományi Kar, Nukleáris Technikai Intézet

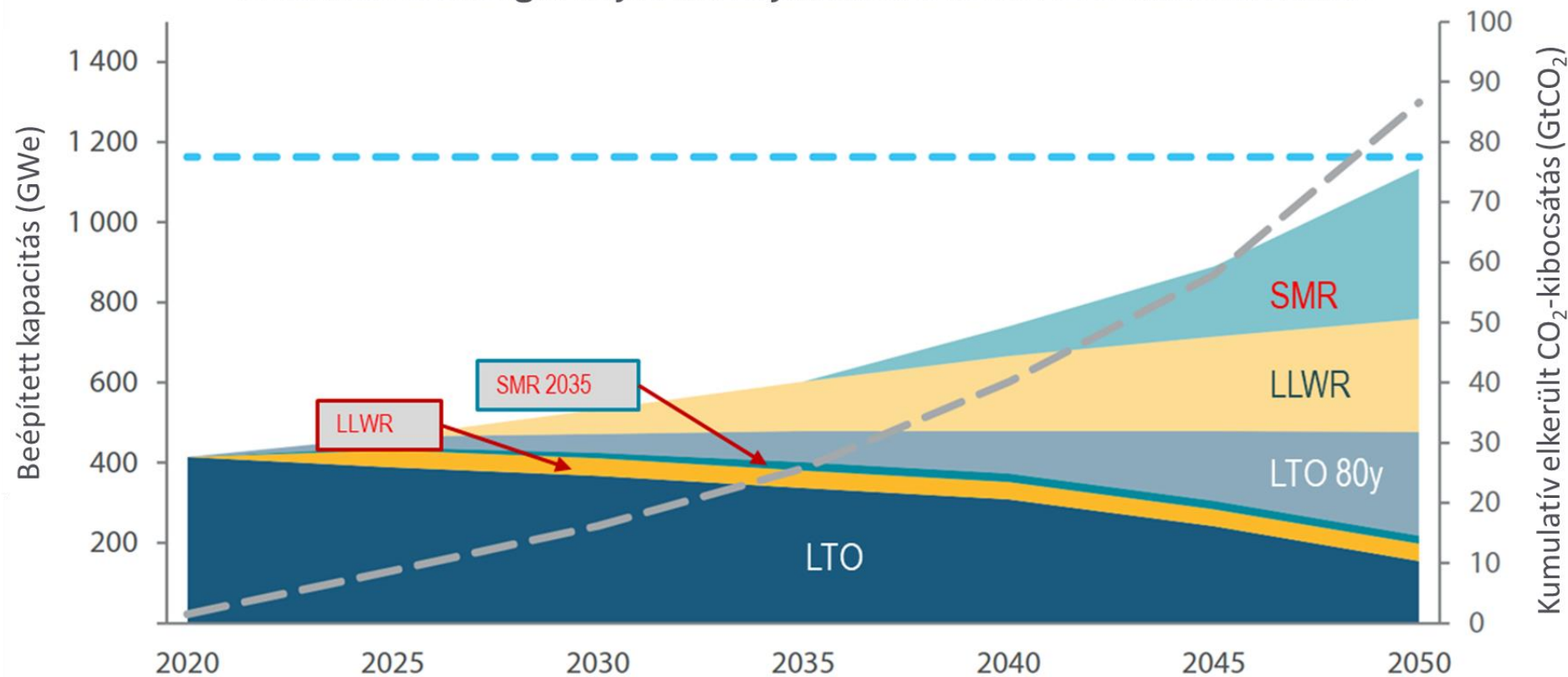
2025. december 4.

Új helyzet van? **Új helyzet van!**

1. Energiaellátási válsághelyzet → Az ellátásbiztonság felértékelődött
2. Klímaváltozás, kibocsátás-csökkentés
3. Nagy atomerőmű építési projektek elhúzódása
4. Nagy atomerőmű építő cégek, technológiák piacán nem igazán van változás (és nehéz is a belépés)
5. Mesterséges intelligenciát alkalmazó nagy tech cégek felfutása
6. Nagy tech cégek belépése az SMR üzletbe
7. SMR technológia magasabb lakossági támogatása

Az atomenergia jövője

A nukleáris energia teljes hozzájárulása a nettó zéró kibocsátáshoz



— Kumulatív elkerült kibocsátás

--- IPCC 1,5°C Szenárió (2050-es átlag) = 1160 GW nukleáris kapacitás (az IPCC 1,5°C Szenáriói átlaga alapján)

Konzervatív előrejelzés

- Kis moduláris reaktorok (2035-ös piaci kilátások)
- Nagyméretű blokk új építkezések (építés alatt)
- Üzemidő-hosszabbítás (tervezett)

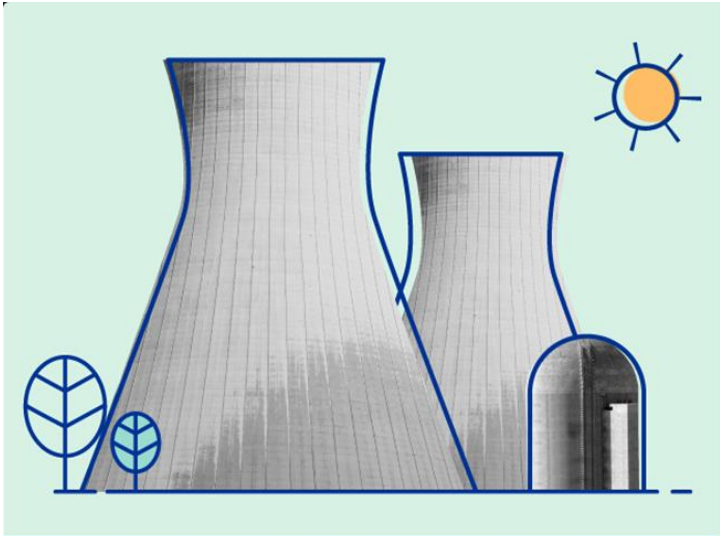
Ambiciózus előrejelzés

- Kis moduláris reaktorok (2035 utáni piaci extrapoláció)
- Nagyméretű blokk új építkezések (tervezett)
- Üzemidő-hosszabbítás (blokkonként 80 éves üzemidőig)

**COP28 (Dubai, 2023),
25 ország nyilatkozata:**

- 2050-ig a nukleáris kapacitást meg kell háromszorozni, és **1 160 GW** kapacitás kell elérni a klímacélok teljesítéséhez.
- A jelenlegi kapacitások triplázása szükséges.

Reaktorok méretosztályai



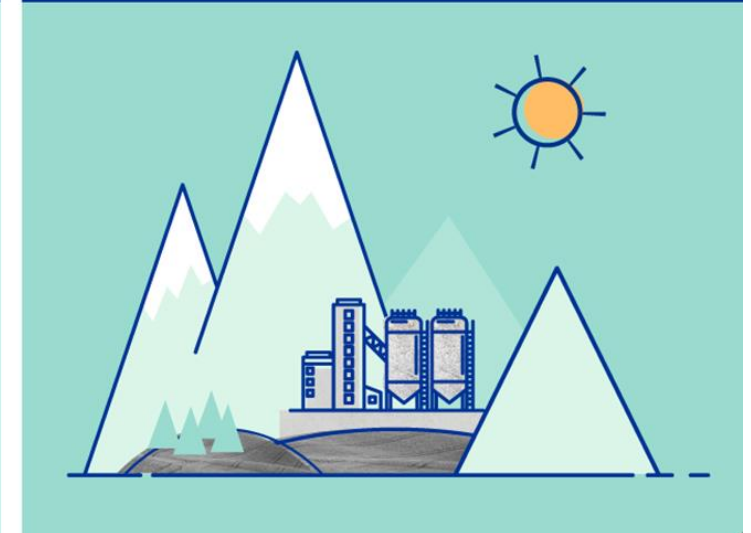
NAGY HAGYOMÁNYOS REAKTOR
700+ MWe



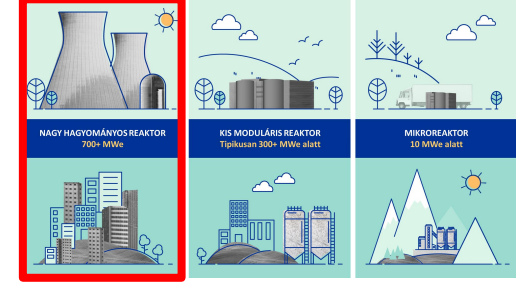
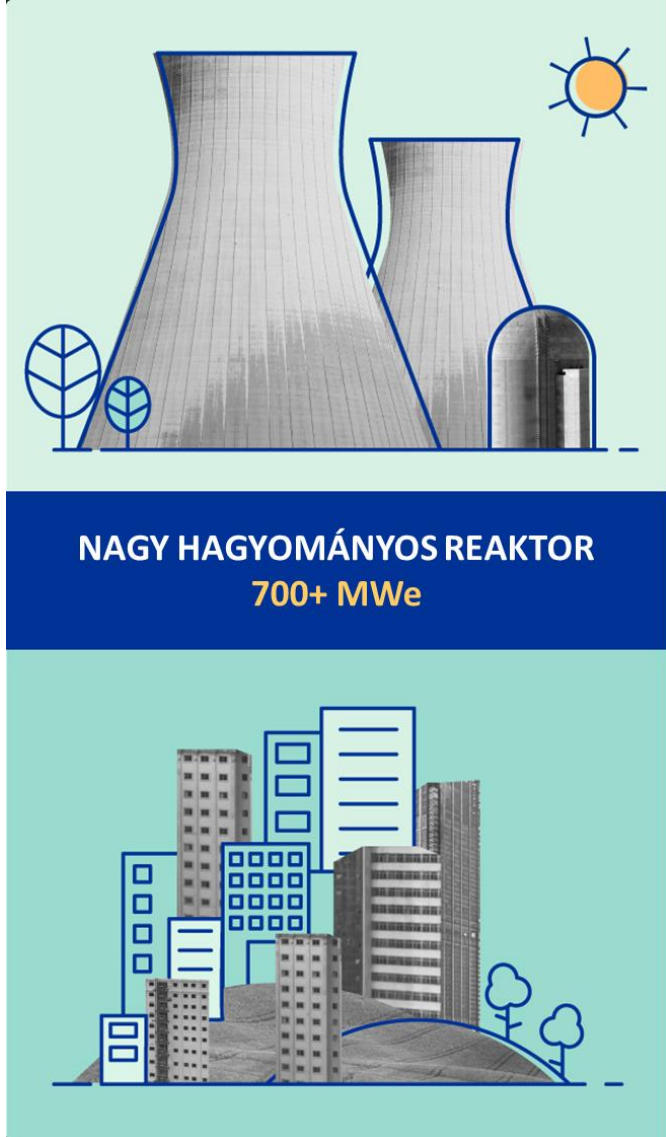
KIS MODULÁRIS REAKTOR
Tipikusan 300+ MWe alatt



MIKROREAKTOR
10 MWe alatt



Nagy atomerőművek **alaperőművi** és szén-dioxid semleges energiát biztosítanak



- Jelenleg 416 AE blokk világszerte
- Zömében Gen2 / Gen3+ LLWR-ek
- Új blokkok piacán tipikusan PWR-ek
- 4 (5) potenciális szállító világszerte

Reaktorok méretosztályai



NAGY HAGYOMÁNYOS REAKTOR
700+ MWe



KIS MODULÁRIS REAKTOR
Tipikusan 300+ MWe alatt



MIKROREAKTOR
10 MWe alatt



A szerverparkok villamosenergia-igénye

	views	length [min]	MB/min	kWh/GB	kWh	GWh	One Tesla model 3, #equator [no.]
Baby Shark	1,50E+10	2,25	15	0,2	1,013E+08	101	16 875
Despacito	8,50E+09	4	15	0,2	1,020E+08	102	17 000

	kWh/100 km	Equator [km]	1 round [kWh]
Tesla model 3	15	40 000	6000

↑
Speciális szerver oldali energiaigény

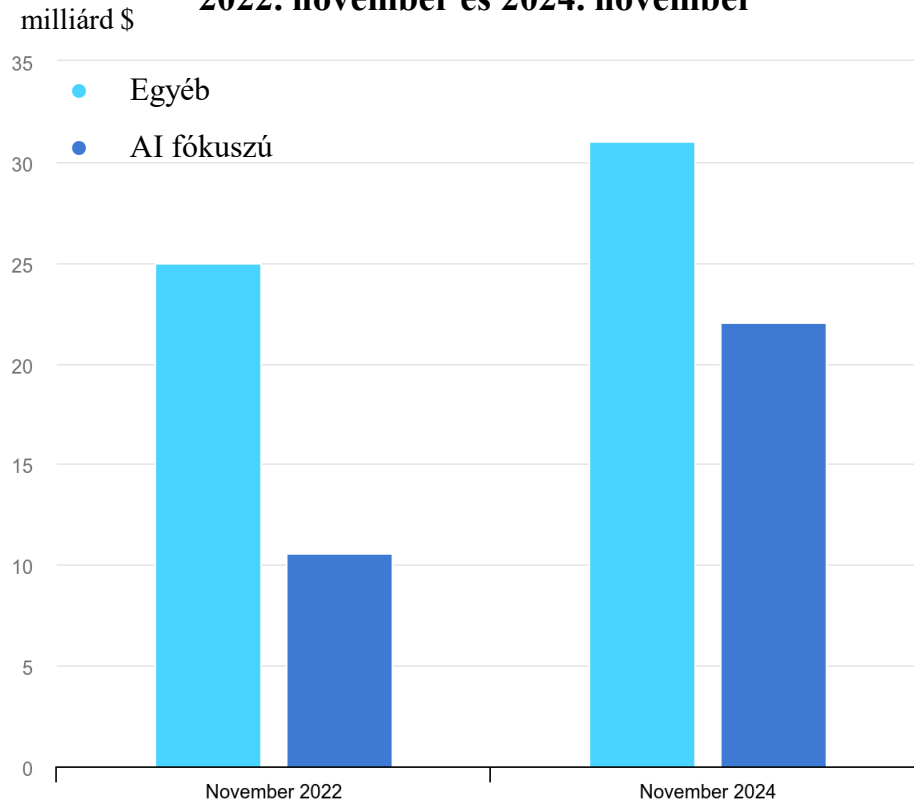


A DALL-E 3 segítségével generálva

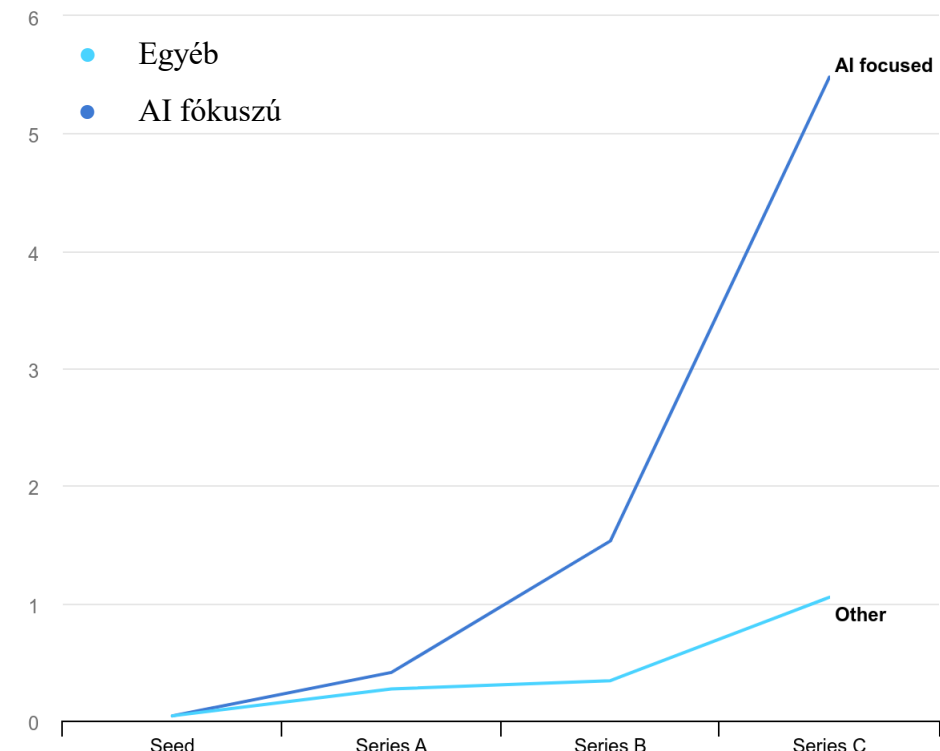
A mesterséges intelligencia hatása a tőkepiacokra

- A mesterséges intelligenciában (MI) rejlő potenciált kihasználva a technológiai vállalatok uralják a tőzsdét – különösen az USA-ban.
- 2022 novemberétől – amikor a ChatGPT elindult – 2024 végéig az *S&P 500* piaci kapitalizációja növekedésének 65%-a olyan vállalatoktól származott, amelyek vagy MI-t alkalmaznak, vagy MI-t integrálnak alapvető működésükbe.
- Vagyis az *S&P 500* vállalatok piaci kapitalizációjának 16 billió dolláros ($16 \cdot 10^{12}$) növekedéséből 12 billió dollár ($12 \cdot 10^{12}$) kizárólag a mesterséges intelligenciával kapcsolatos vállalatoktól származott.
- 2024-ben, a negyedik finanszírozási kört elérő start-upok közül a MI-ra összpontosító start-upok átlagos értékelése ötszöröse volt a többinek.

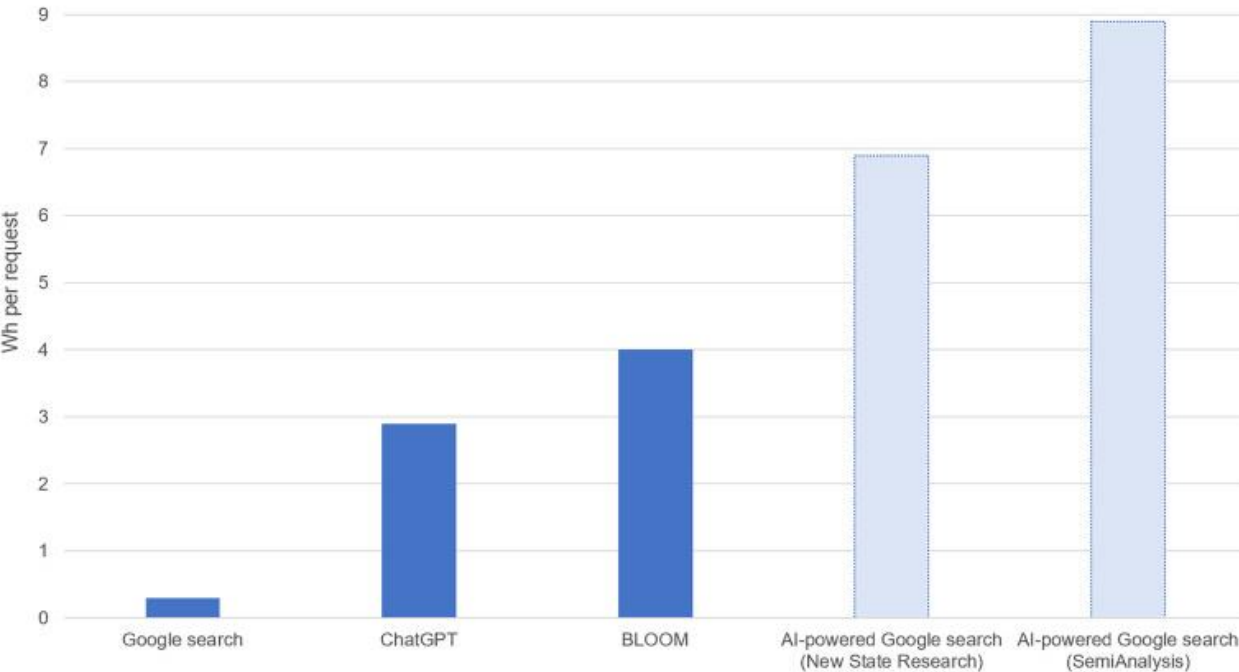
**Az S&P 500 vállalatok éves átlagos piaci kapitalizációja,
2022. november és 2024. november**



**Az Egyesült Államokban működő start-upok medián
értékelése, 2024**

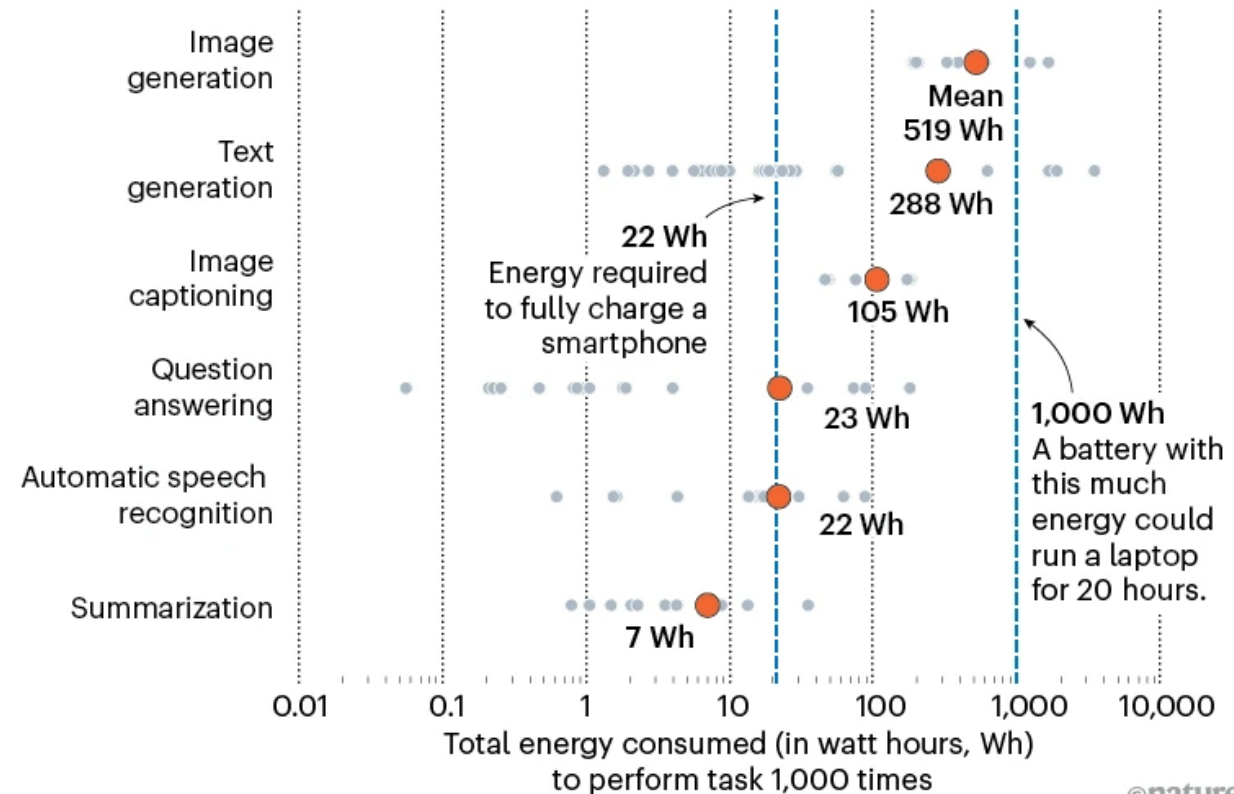


Az AI boom és annak következményei az energetikára



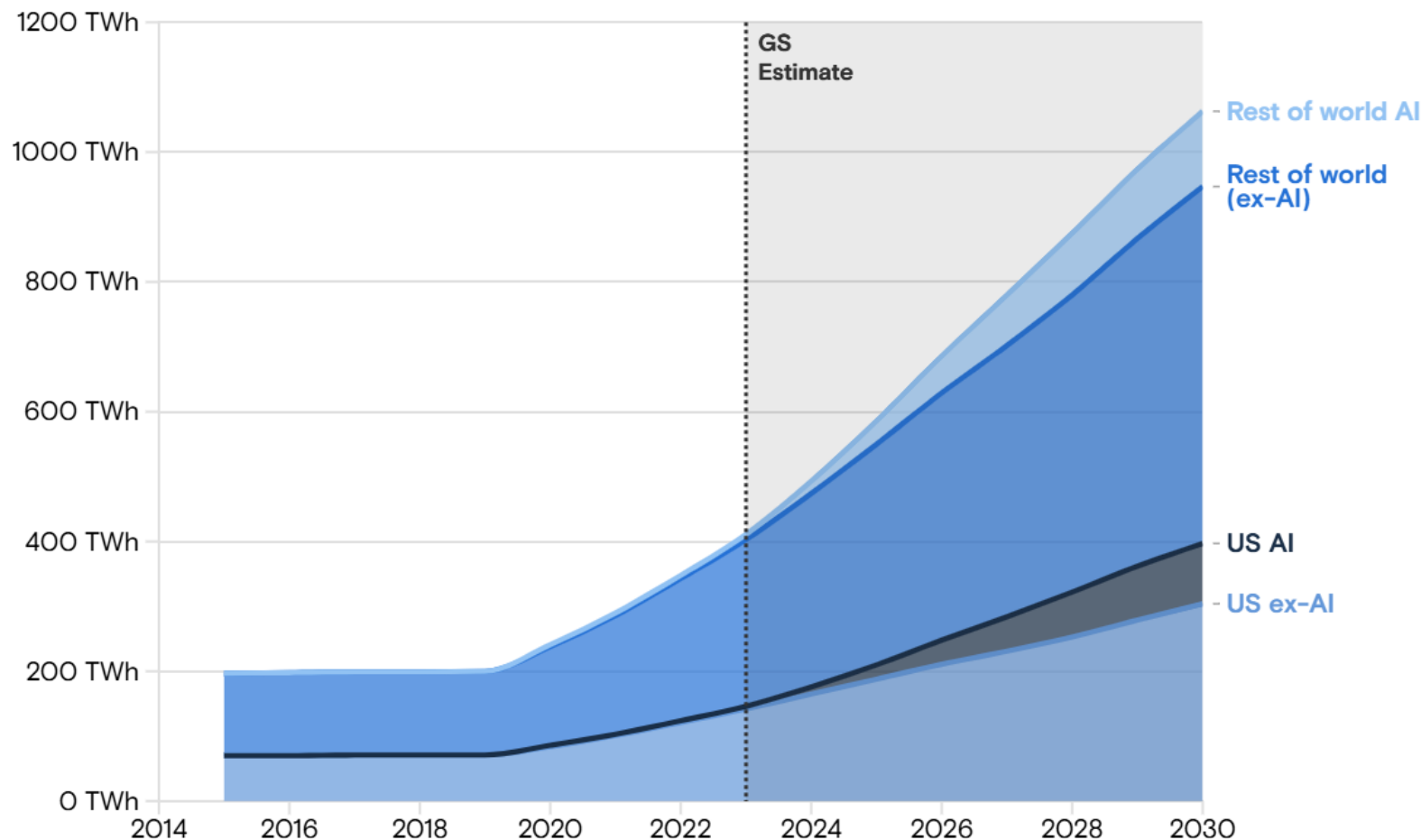
A különböző AI-alapú rendszerek becsült villamosenergia-fogyasztása egy lekérdezésre vetítve egy normál Google-kereséshez képest (10-30-szoros növekedés).

1000 darab nagyobb energiaigényű prompt energiaigénye akár egy laptop 20 órányi villamosenergia-fogyasztását is megközelítheti



A mesterséges intelligencia boom és az adatközpontok – éves villamosenergia-igény

Data center power demand



- Jelentős növekedést jelez előre a legtöbb elemzés (GoldmanSachs, IEA, McKinsey,)
- Az USA-ban van olyan adatközpont, aminek a teljesítmény-igénye **4 694 MW (!!!!)**

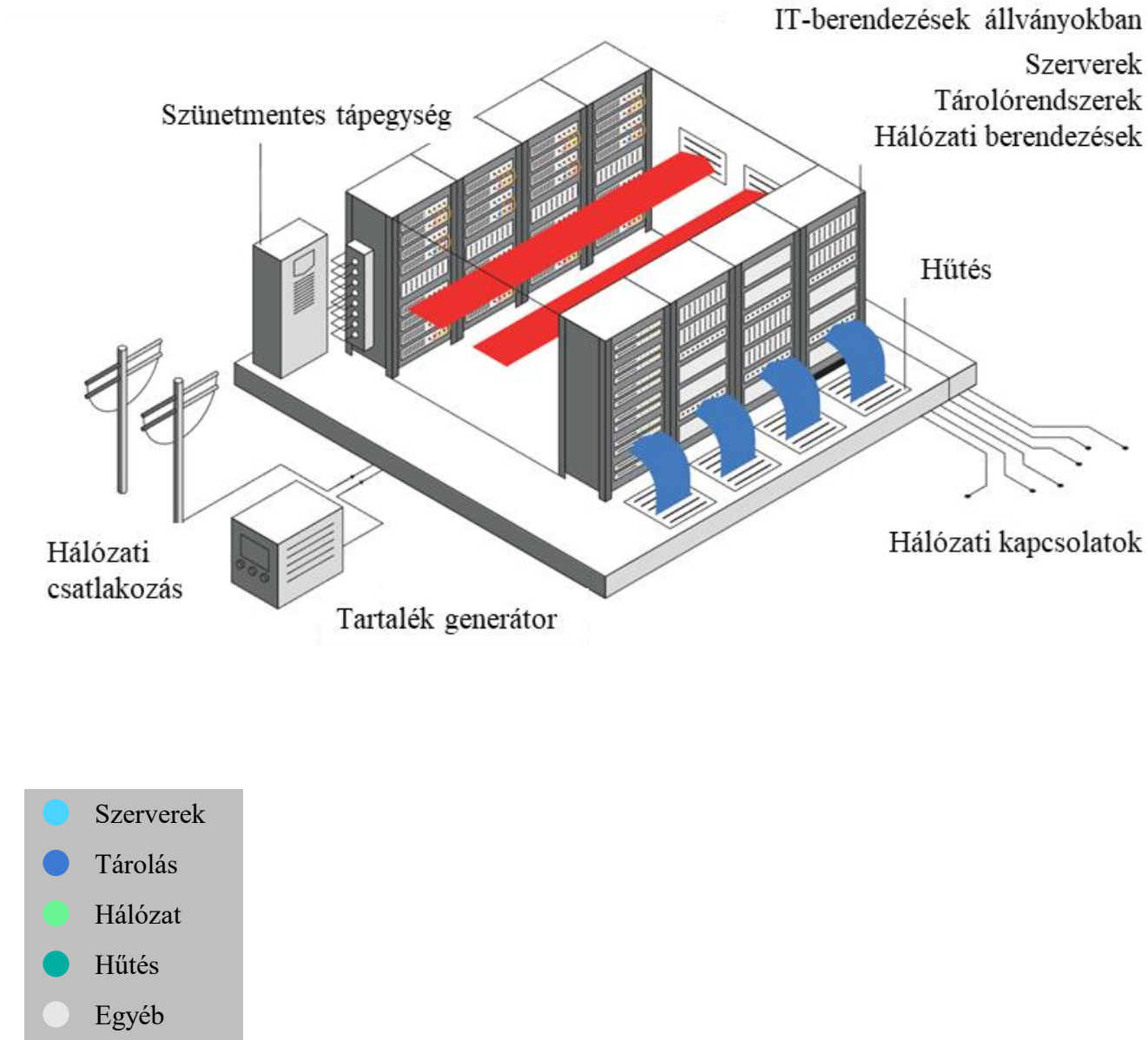
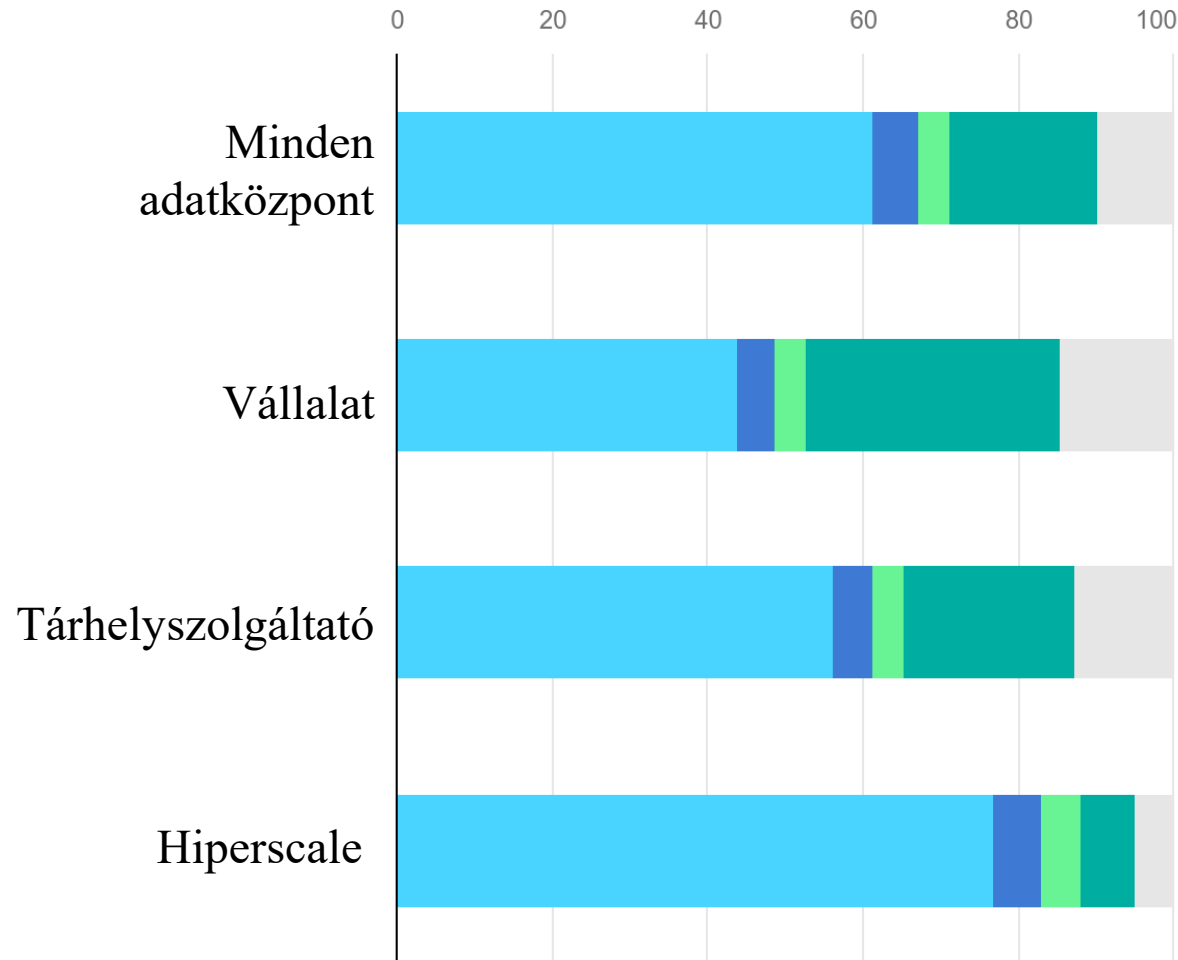
Source: Masanet et al. (2020), Cisco, IEA, Goldman Sachs Research

**Goldman
Sachs**

Forrás:
<https://www.goldmansachs.com/pdfs/insights/pages/generational-growth-ai-data-centers-and-the-coming-us-power-surge/report.pdf>

Adatközpontok villamosenergia-felhasználása

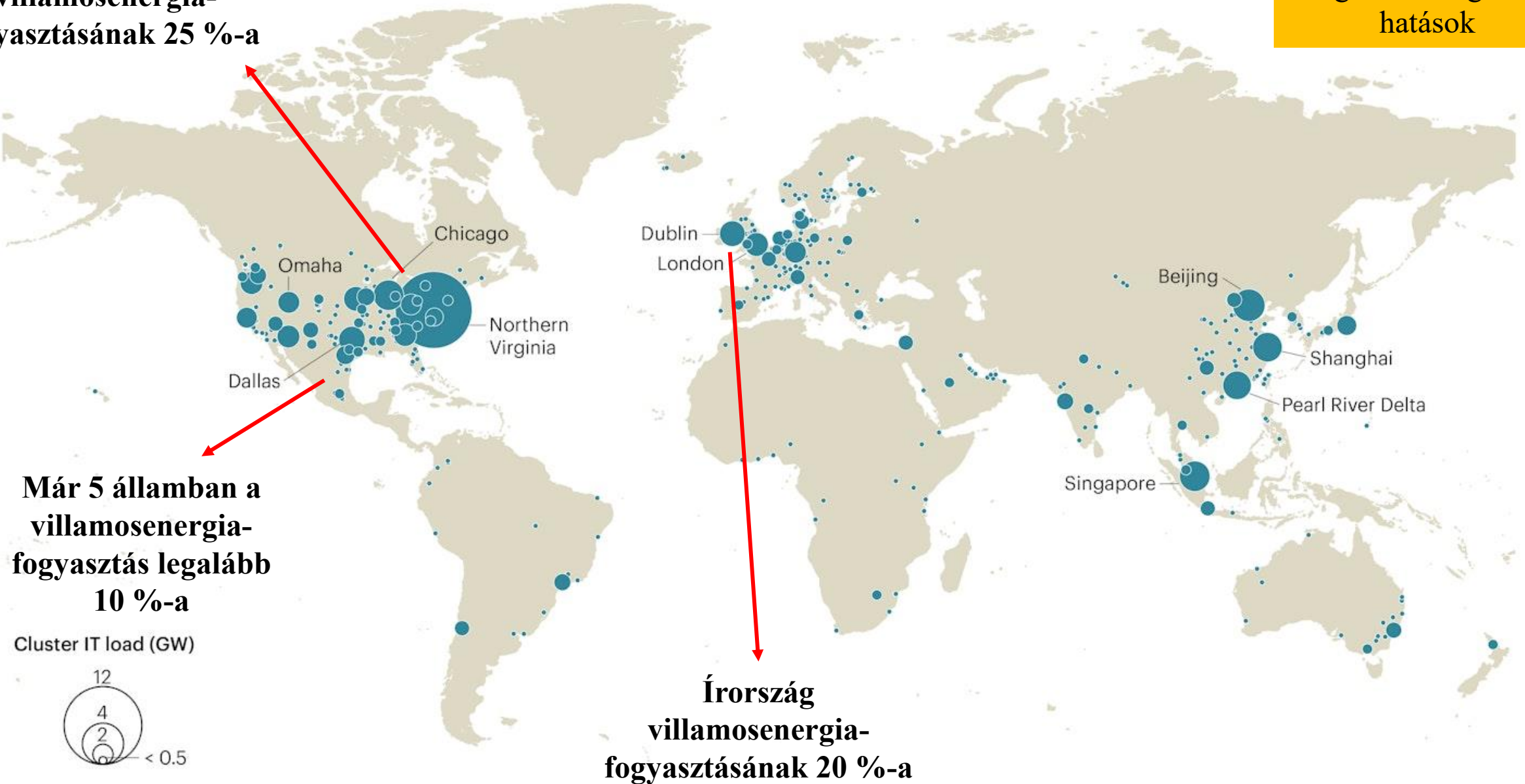
- Jelenleg a **szerverek működtetése** és a **hűtés** a legnagyobb villamosenergia-fogyasztó
- A méret növelésével és a technológia fejlődésével a hűtés részaránya csökken



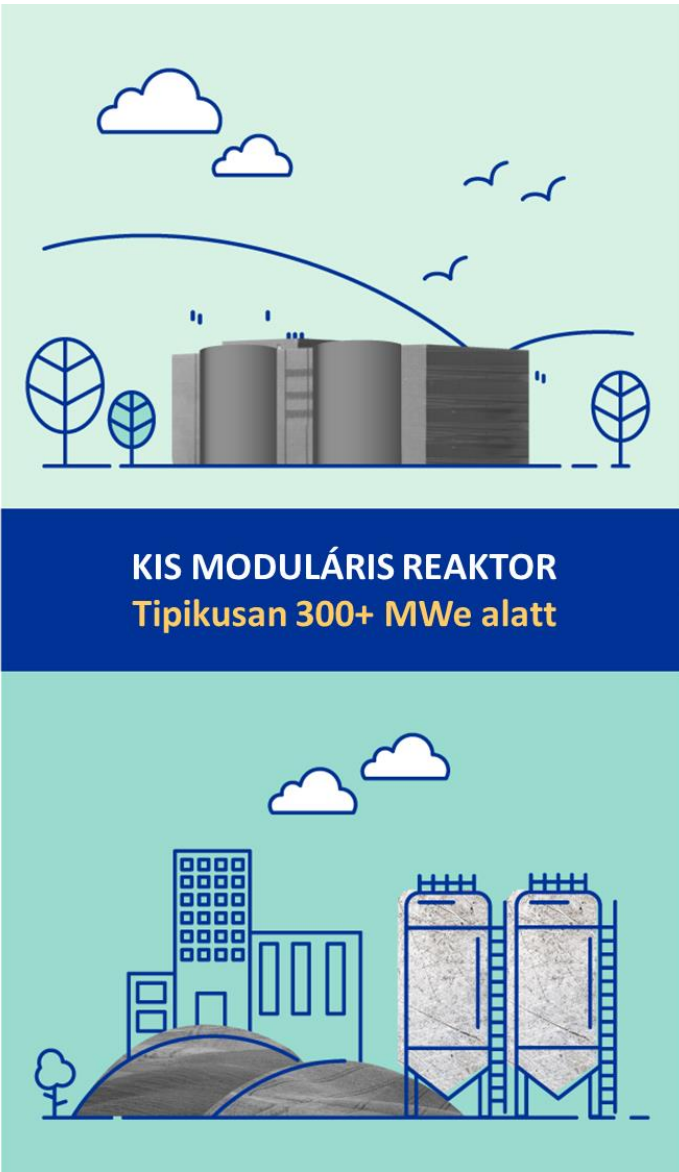
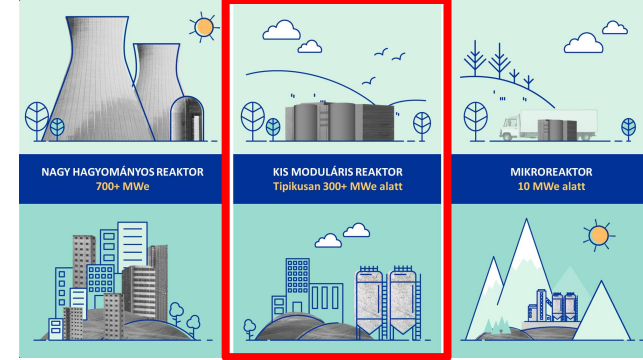
Adatközpontok eloszlása

Inkább lokális, mint
globális/régiós
hatások

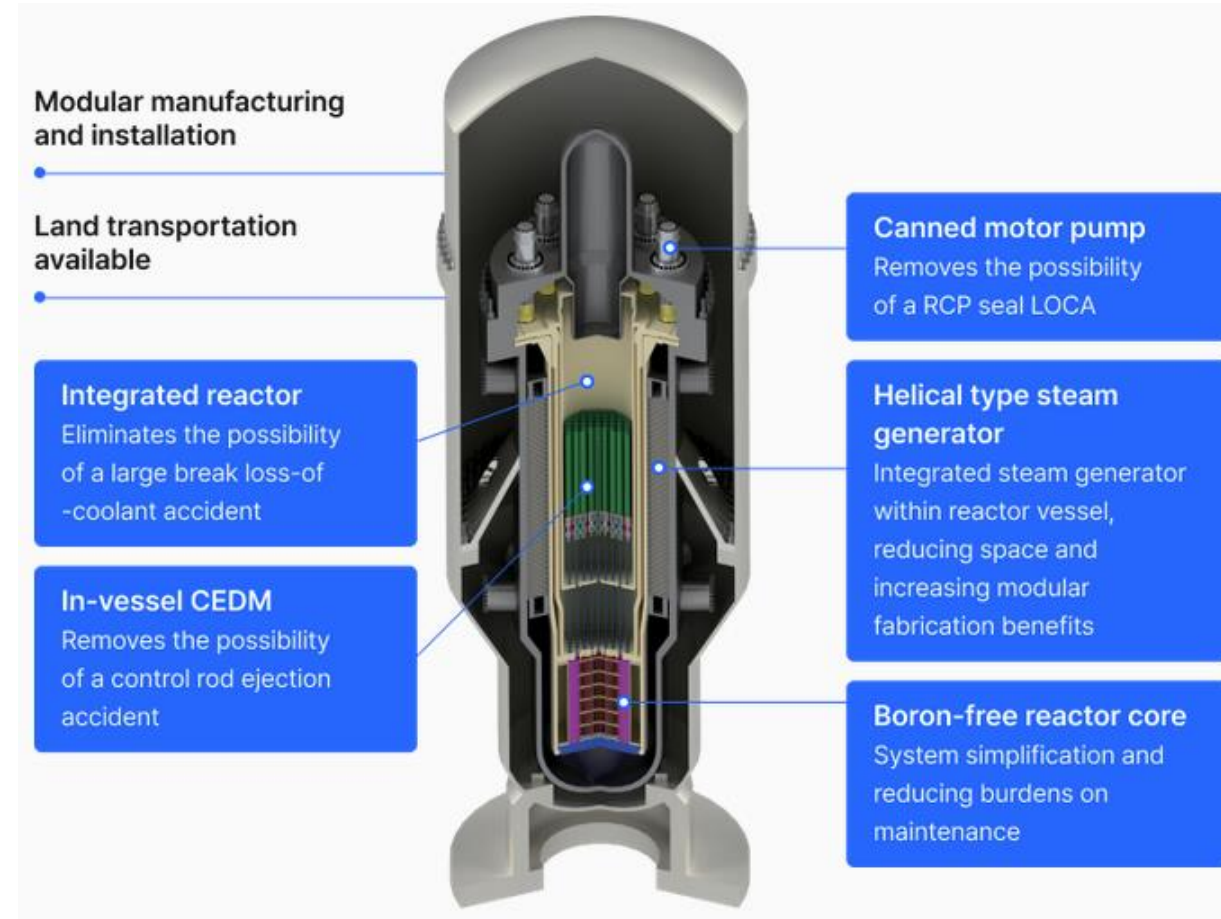
Virginia állam
villamosenergia-
fogyasztásának 25 %-a



Small Modular Reactors (SMRs)

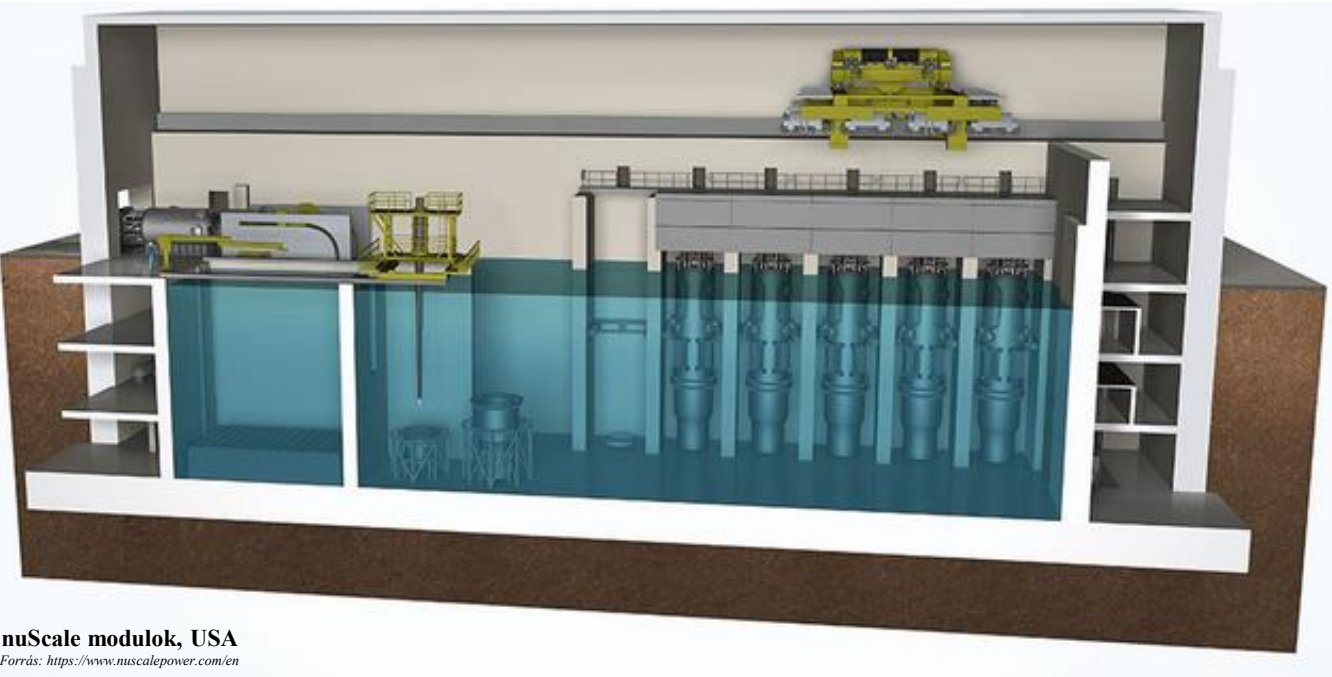
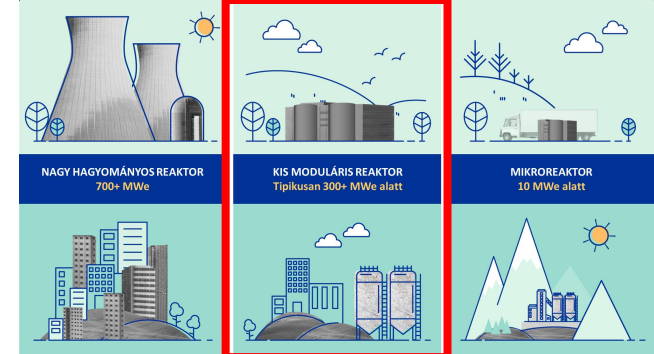


- Jelenleg óriási az érdeklődés az SMR-ek iránt
- Szokásosnál magasabb dúsítású urán (HALEU, 5-20%-os dúsítás)
- Kis zóna
- Ritkább üzemanyag-utántöltés (2-15 év)
- Integrált reaktortartály
- Passzív biztonsági rendszerek
- Egyes típusoknál az üzemi hűtés is passzív
- Rövidebb építési idő
- Magasabb társadalmi elfogadottság

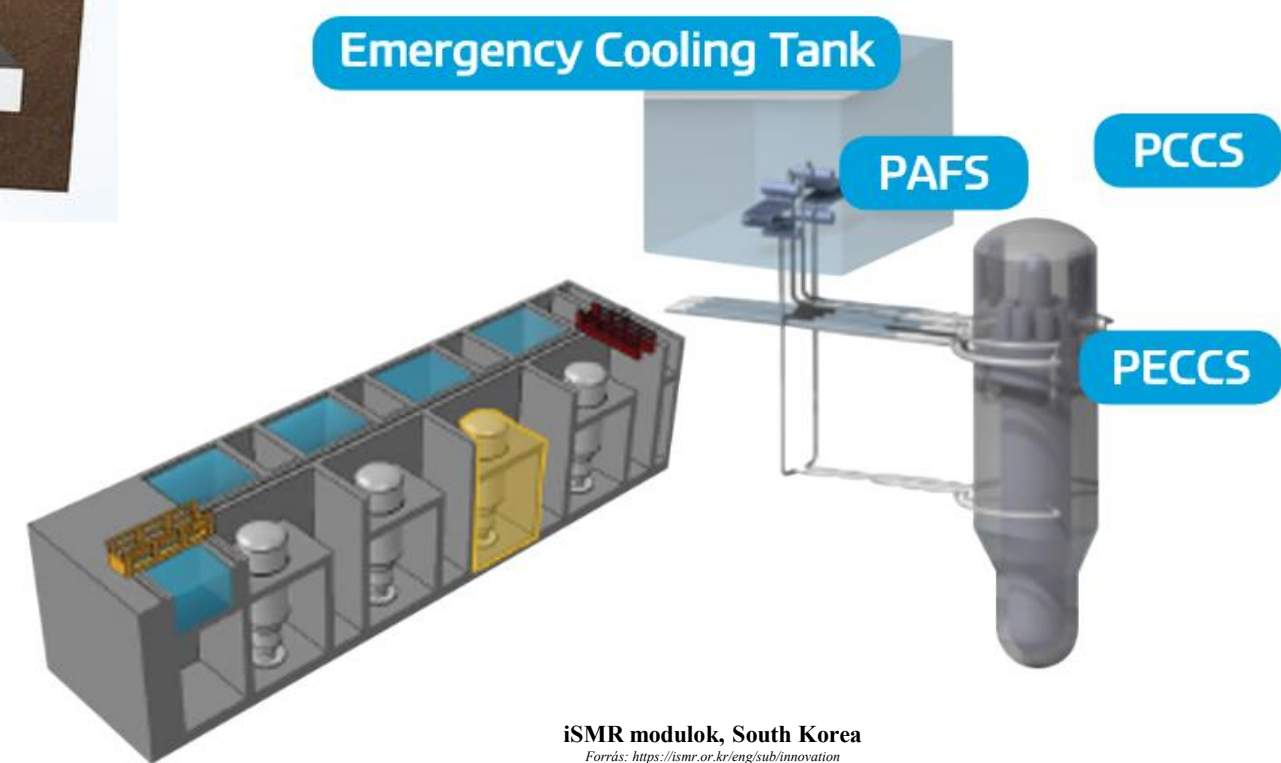


170 MWe iSMR, South Korea.
Forrás: <https://ismr.or.kr/eng/sub/innovation>

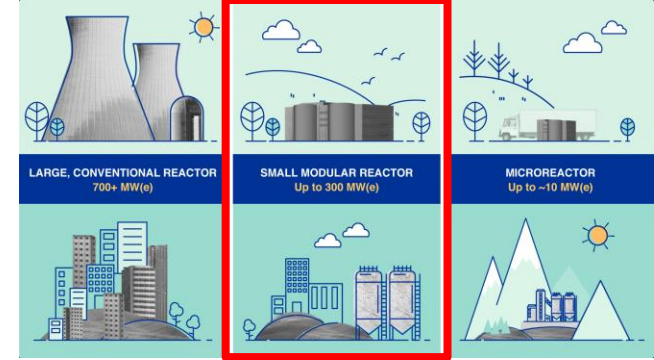
Small Modular Reactors (SMRs)



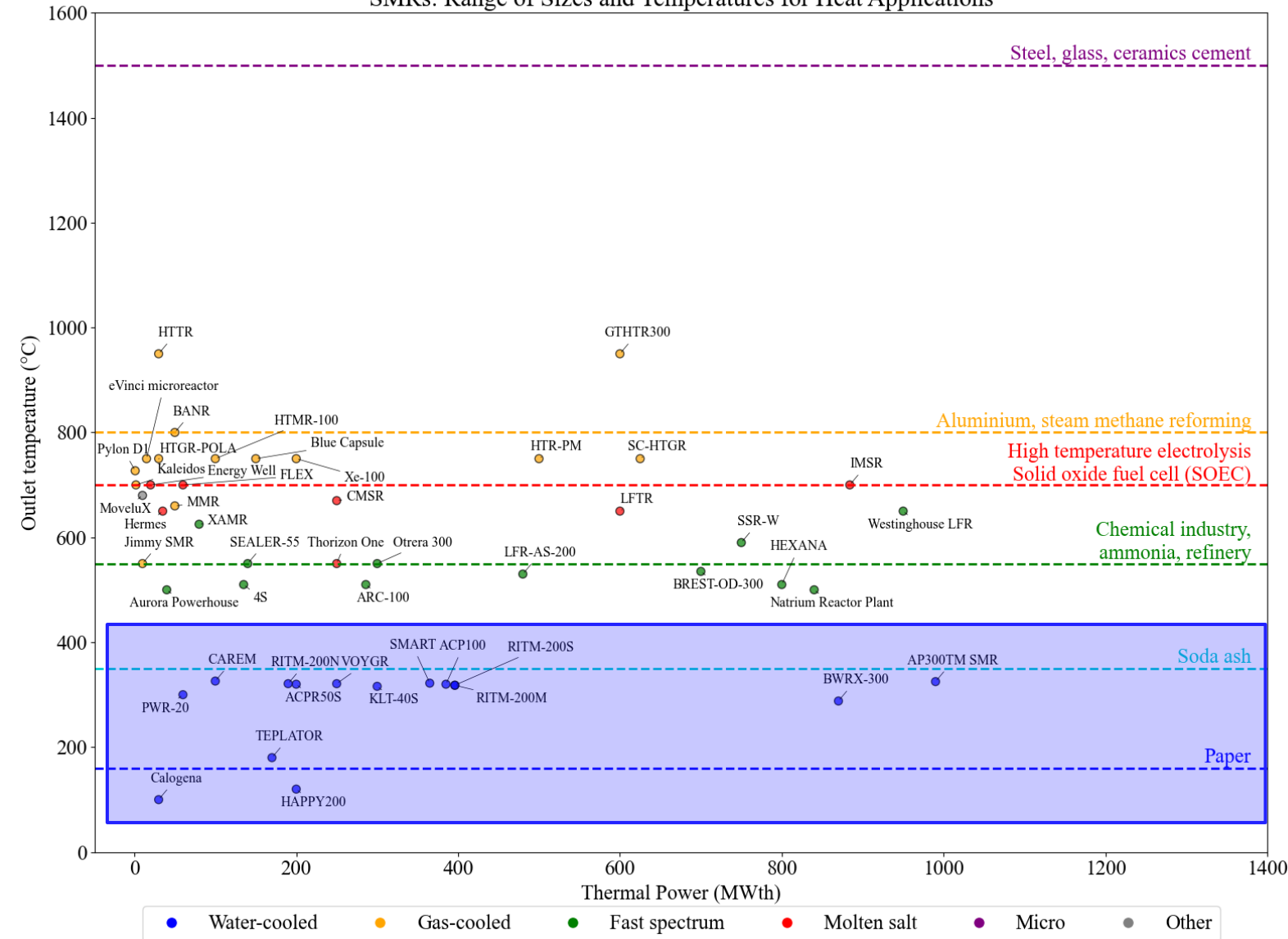
- Több reaktor összekapcsolható nagyobb erőművé
- Rugalmas teljesítmény, terheléskövetési képesség
- Kapcsolt energiatermelés lehetősége (áram + hő)
- Trigenerációs lehetőség (áram + hő + H₂)
- A sótanítás is fontos számos ország számára
- Bevált, engedéllyel rendelkező üzemanyag
- Van pénz a tőkepiacon



SMR-ek működési hőmérséklete

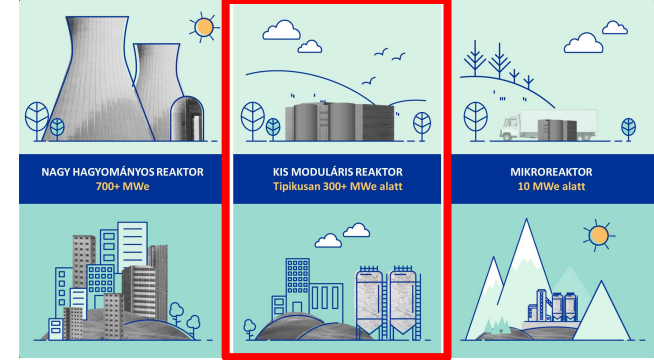


SMRs: Range of Sizes and Temperatures for Heat Applications



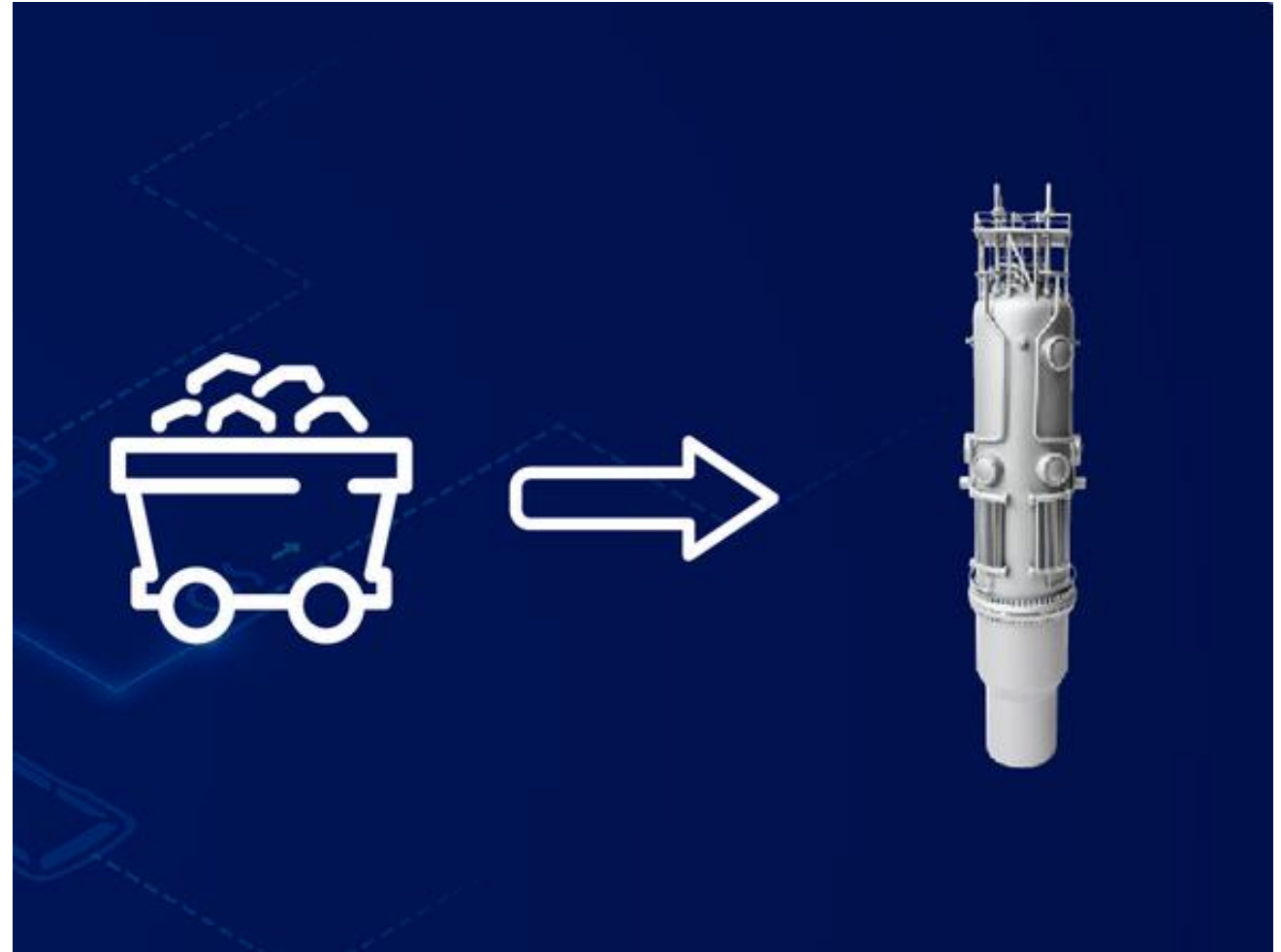
- Ábrázolás SMR típus, előállított hőmérséklet és termikus teljesítmény alapján
- **Könnyűvizes típusok:** Jelenleg ezek érhetők el a piacon, fő cél a villamosenergia-termelés, de alacsony hőmérsékletű távhő és hidrogén előállítás is lehetséges

Small Modular Reactors (SMRs)



USA barnamezős projektek

- USA szenes blokkok 90%-a 500 MWe alatti.
- 2010-2012 között leállított szenes blokkok átlagos mérete 97 MWe.
- 2015-2025 közötti nyugdíjazott blokkok átlagos kapacitása 145 MWe.
- 22 300 MWe szenes kapacitás már leállítva
- 2025-ben további 10 900 MWe.
- Összesen 173 darab szenes erőmű leállítása az USA-ban 2030-ig.
- **Kapcsolódó iparágak sorsa?**
- **Munkaerő sorsa?**
- **Helyi adóbevételek?**
- **Helyi népesség megtartása?**



SMR kihívások

- Engedélyezési környezet
- Kis országok hatóságainak együttműködése
- Típusengedélyezés
- Standardizálás
- Sorozatgyártás
- Gazdaságosság
- NAÜ megközelítés – az állami szintű elköteleződés itt sem nélkülözhető
 - Oktatás, HR
 - Villamos hálózat
 - Garanciarendszer, termékárak
 - Kiégett üzemanyag kezelés
 - ...



Tepalator SMR koncepció (Forrás: UWB + CTU , CZ)

Köszönetnyilvánítás

- A bemutatott kutatás a BME-NVA-02 számú projekt részeként az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással, a TKP2021 pályázati program finanszírozásában valósult meg.
- A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta.”

