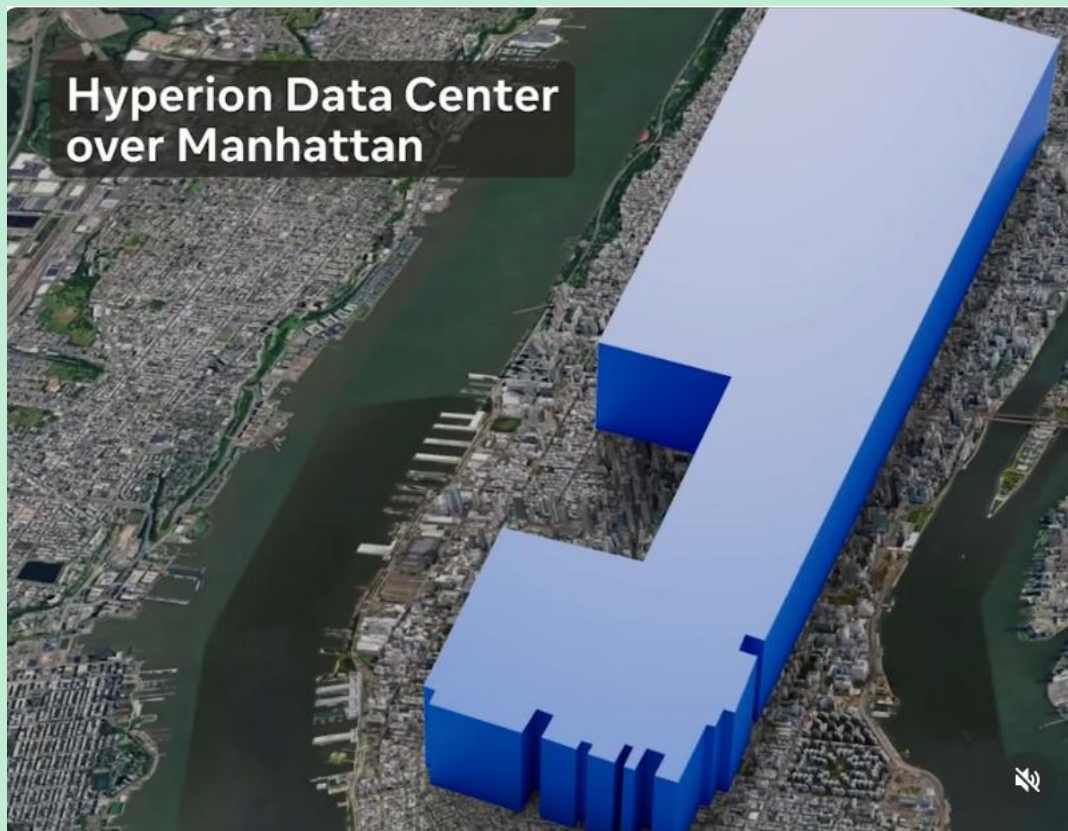


Az adatközpontok szerepe a globális felmelegedésben



dr.Fiala Károly
Spectrum Advise ec.
HTE Rádiótávközlési Szakosztály

2025.11.25.

Tartalomjegyzék

1) Globális ÜHG kibocsátás

2) Az IKT szektor kibocsátása

- a) Meghatározás az ITU-T L-1450 szerint
- b) ITU-T L.1470 - IPCC P2 kibocsátás csökkentési pálya
- c) IKT kategóriák energiafelhasználása 2015-2023
- d) Kibocsátások osztályozása a „GHG Protocol” szerint

3) Az adatközpontok kibocsátása

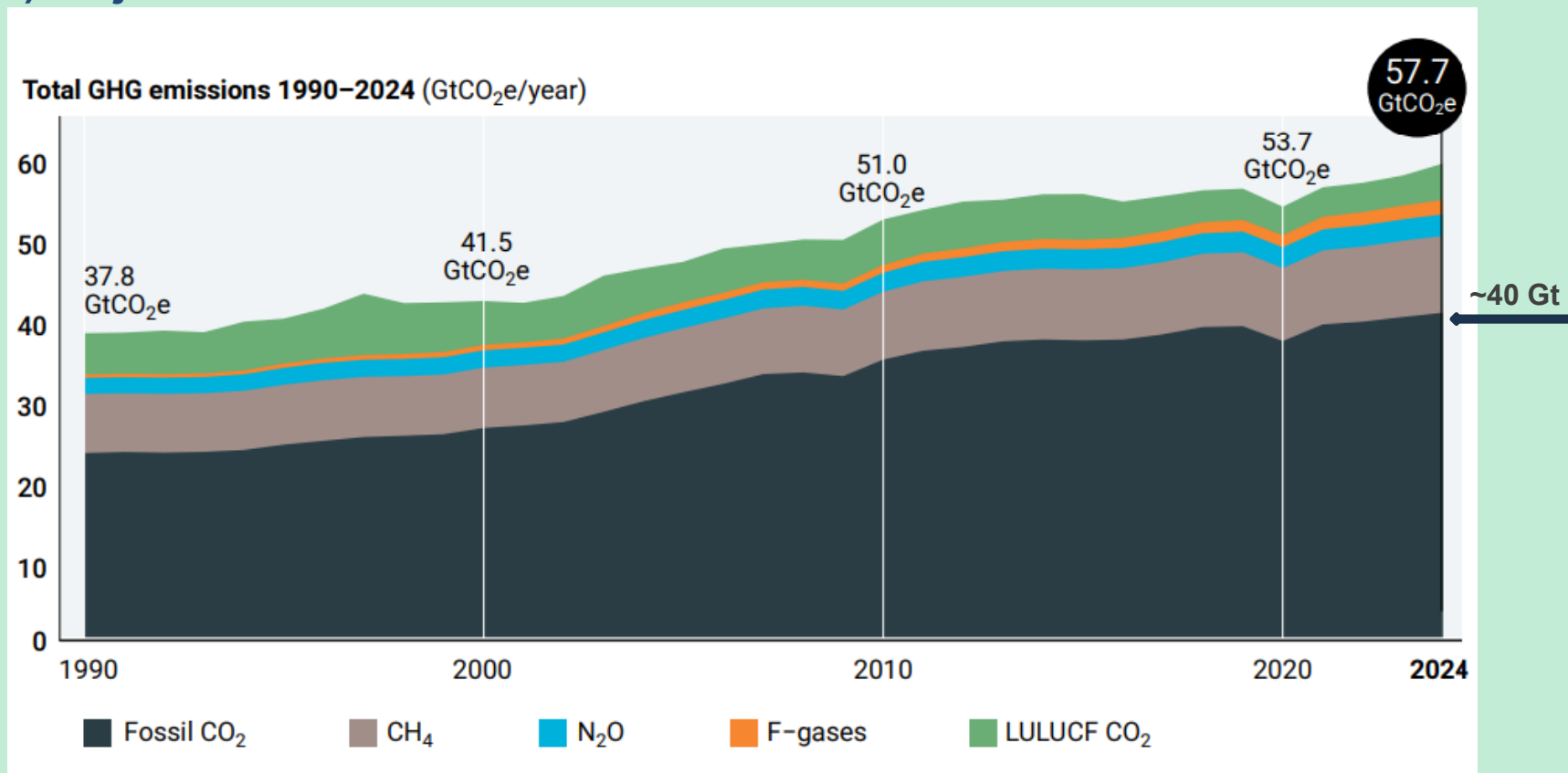
- a) Sokkoló média szalagcímek
- b) Adatközpontok a világban
- c) Net-zéró célkitűzések
- d) Az energiahatékonyság definíciója
- e) Villamosenergia fogyasztás és CO₂ kibocsátása 2024
- f) Villamosenergia fogyasztás 2020-2030
- g) Energia-mix 2024-2035
- h) Villamosenergia igény növekedése 2024-2030
- i) Közvetett (Scope2) CO₂ kibocsátások 2024-2035
- j) Az MI kibocsátás csökkentő hatása 2035
- k) Bizonytalansági tényező - Jevons paradoxon
- l) Az MI alkalmazások becsült hatása

4) Konklúziók

Irodalomjegyzék

1) Globális ÜHG kibocsátás

a) Teljes éves ÜHG kibocsátás 1990-2024 között

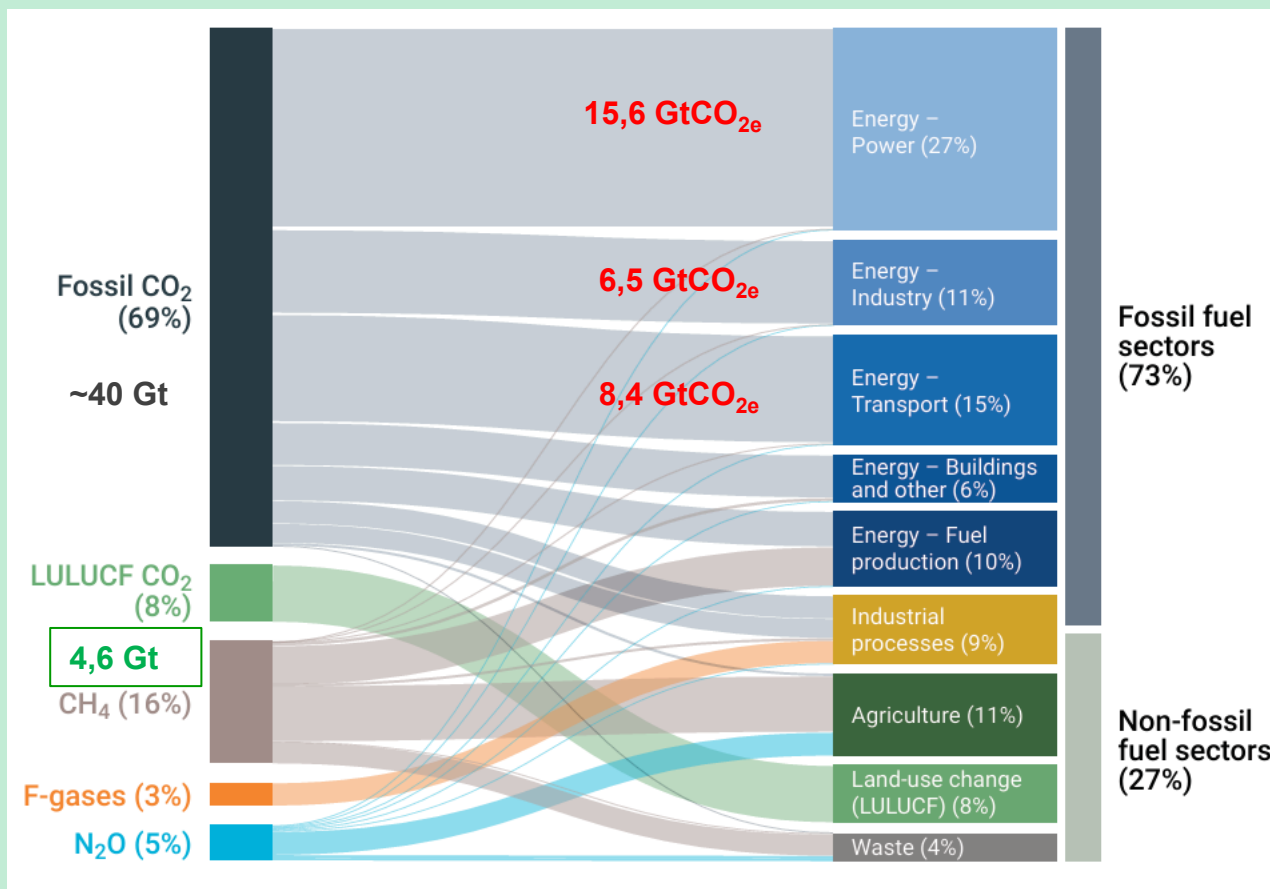


Forrás: [1]

A globális **ÜHG** (CO₂, CH₄, N₂O, F-gázok) kibocsátás **1990-2024** között **folyamatosan nőtt** (kivéve 2020-at), **2024**-ben elérte az **57,7 GtCO₂e** történelmi csúcst. Ebben az évben a légköri átlagos CO₂ koncentráció **422,5 ppm** volt (jelenleg már 426 ppm). Nincs jele, hogy az ÜHG kibocsátás elérte volna a maximumát!

1) Globális ÜHG kibocsátás

b) Megoszlás ÜHG típus és gazdasági szektorok között-2024

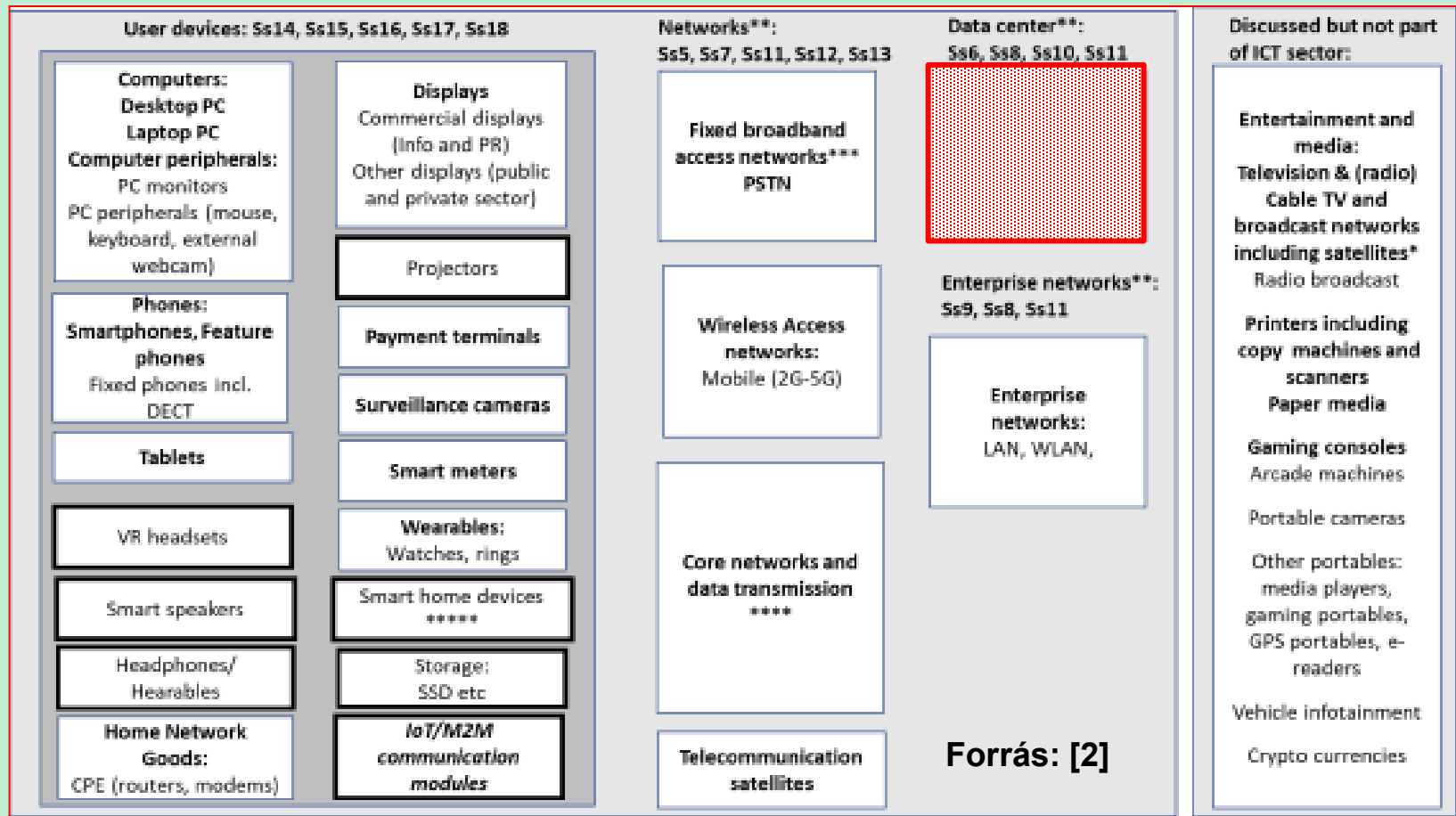


Forrás: [1]

ÜHG típus szerint a **fosszilis** energiahordozók elégetéséből származó **CO₂** képviseli a legmagasabb arányt **69%**-kal, amit a metán követ **16 %**-kal. A gazdasági szektorok között a **villamosenergia előállítása** adja az ÜHG kibocsátás **27 %**-át, amit a közlekedés **15 %**-a követ. Az ipar és a mezőgazdaság részaránya egyaránt **11 %**.

2) Az IKT szektor kibocsátása

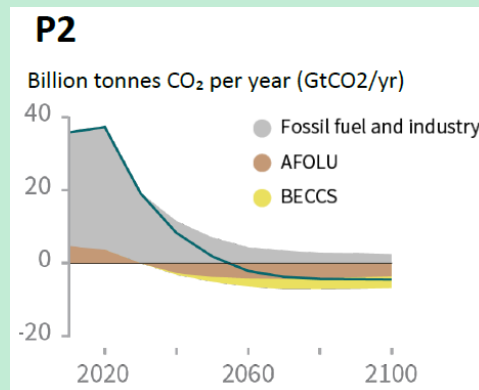
a) Meghatározás az ITU-T L-1450 szerint



Az **ITU-T L-1450** Ajánlás az IKT szektor három fő kategóriáját határozza meg: **felhasználói eszközök**, **hálózatok** és **ADATKÖZPONTOK** (TV, rádió, kábelTV, műsorszóró hálózatok nem tartoznak ide és a kriptovaluták sem!).

2) Az IKT szektor kibocsátása

b) ITU-T L.1470 - IPCC P2 kibocsátás csökkentési pálya



Forrás:[3]

Table 3 – IPCC P2 pathway until 2030

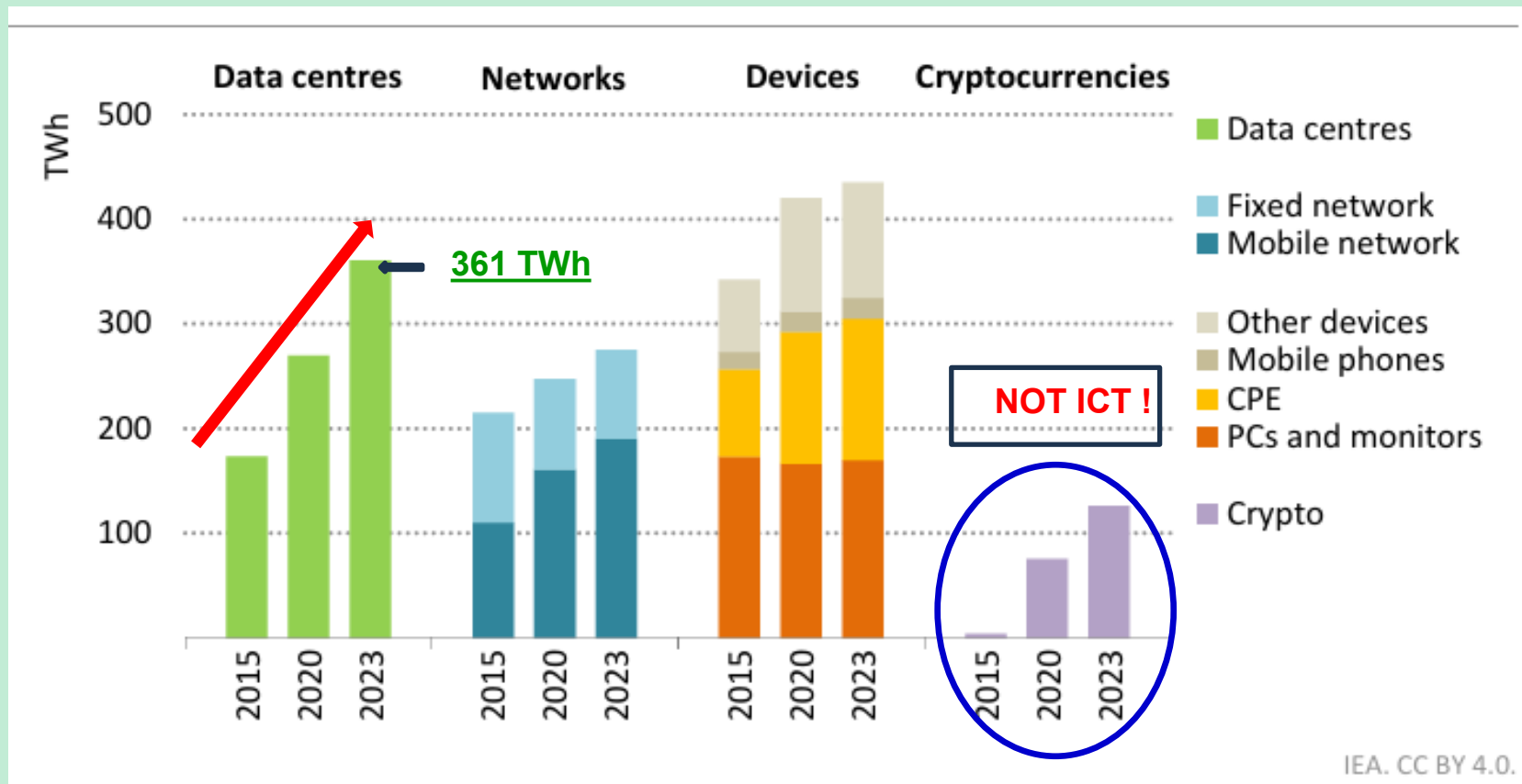
Year	P2 reduction relative to 2015, %
2025	-20
2030	-50

Nem teljesült!

Az IKT számára az IPCC P2 pálya azonos kibocsátáscsökkentést határoz meg, mint a többi szektor számára is a **1,5 C°** tartásához. Azonban az IKT szektor kibocsátása 2015-2020 között **nem csökkent!** Az IKT szektor kibocsátása **2020-ban 2,1-3,9% (1,2-2,2 GtCO_{2e})** volt, figyelembe véve az IKT termékek/szolgáltatások **teljes életciklusára és a teljes ellátási láncra** vonatkozó kibocsátásait [4]

2) Az IKT szektor kibocsátása

c) IKT kategóriák energia felhasználása 2015-2023

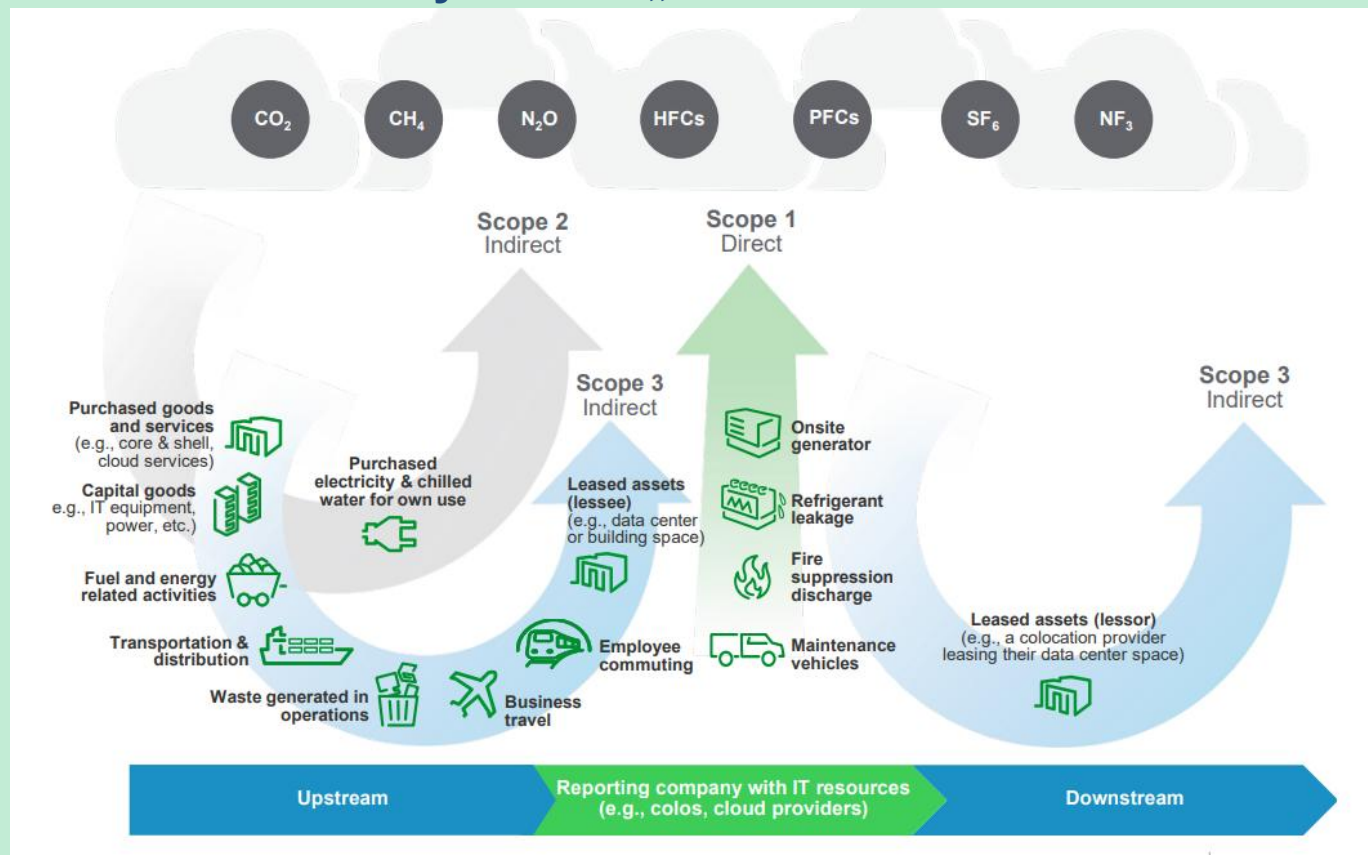


Forrás:[5]

A felhasználói eszközök után az **ADATKÖZPONTOK** fogyasztották a legtöbb villamosenergiát, fogyasztásuk **növekedési üteme pedig** a legnagyobb volt **2015-2023** között. Az IKT szektor **használati** villamosenergia fogyasztása **~1000 TWh** volt 2023-ban, ami a globális villamosenergia fogyasztás kb. **4%-a**.

2) Az IKT szektor kibocsátása

d) Kibocsátások osztályozása a „GHG Protocol” szerint



Forrás:[6]

Scope 1 a jelentéstevő vállalat által **tulajdonolt**, vagy **kontrollált** vagyontárgyakhoz (épületek, gépjárművek, dízelgenerátorok, gázbojlerek..stb.) helyileg köthető **közvetlen** kibocsátások. **Scope 2** azok a **közvetett** kibocsátások, amelyek a megvásárolt **energia** (elektromos energia, távfűtés) létrehozásából erednek és a kibocsátás helyileg az **energiaszolgáltatónál** van. **Scope 3** minden más **közvetett** kibocsátás a vállalat értékláncában (upstream, downstream). **Teljes kibocsátás:** **Scope 1+ Scope2+ Scope3**

3) Az adatközpontok kibocsátása

a) Sokkoló média szalagcímek

**Data centre emissions are soaring
– it's AI or the climate**

Published: October 2, 2024 5.39pm BST



**Power-hungry AI is driving a surge
in tech giant carbon emissions.
Nobody knows what to do about it**

**Data Centers and the Climate Crisis: A Problem
Hiding in Plain Sight**

**Data center emissions probably 662%
higher than big tech claims. Can it keep
up the ruse?**

A médiákban megjelenő szalagcímek **disztópikus** jövőképet vetítenek előre az **ADATKÖZPONT**-ok **ÜHG** kibocsátásával kapcsolatban.

3) Az adatközpontok kibocsátása

b) Adatközpontok a világban



A világon **+12.000 ADATKÖZPONT** létezik. Globálisan az adatközpontok villamosenergia fogyasztásának **45 %-a** esett az **Egyesült Államokra**, **25% Kínára** és **15 % Európára 2024-ben**. Az **ADATKÖZPONTOK**-nak meghatározó szerepük van az MI szempontjából (betanítás/hangolás, üzemeltetés).

3) Az adatközpontok kibocsátása

c) Net-zéró célkitűzések

Forrás:[5]

Company	Estimated data centre capacity (MW)	Net zero emissions target year	Corporate clean, green or renewable electricity target*	Current share
Meta	9 780	2030	100% renewable since 2020	100%
Google	8 960	2030	100% renewable since 2017	100%
Amazon	7 660	2040	100% renewable since 2023	100%
Microsoft	6 970	2030	100% renewable by 2025	100%
Digital Realty	2 740			66%
Equinix	1 850	2030	100% renewable by 2030	96%
Tencent	1 760	2030	100% green by 2030	12%
Alibaba Cloud	1 660	2030	100% clean by 2030**	56%
Aligned	1 290	2040	100% renewable since 2020	100%
Huawei	1 260	2040		> 50%
Apple	1 240	2020	100% renewable since 2018	100%

Az **ADATKÖZPONT** üzemeltetők többsége **2030**-ra **teljes Net-zéró** kötelezettséget vállalt (Scope1+Scope2+Scope3). A négy nagy globális szolgáltató azt állítja, hogy **már 100 %-ban** megújuló energiát használ (Scope1+ Scope2).

3) Az adatközpontok kibocsátása

d) Az energiahatékonyság definíciója

Az adatközpont energiahatékonysága: **Power Usage Effectiveness (PUE)**

$$\text{PUE} = \frac{\text{Az adatközpont teljes energiafelhasználása}}{\text{A benne levő IT eszközök energiafelhasználása}}$$

	2020	2023	2024	Base Case 2030
Power usage effectiveness				
World	1.53	1.43	1.41	1.29
North America	1.39	1.32	1.32	1.24
United States	1.39	1.31	1.32	1.23
Central and South America	1.82	1.73	1.70	1.50
Europe	1.57	1.47	1.45	1.29
Africa	1.97	1.85	1.81	1.59
Middle East	2.06	1.96	1.92	1.70
Asia Pacific	1.68	1.55	1.50	1.35
China	1.67	1.56	1.50	1.35

Az **ADATKÖZPONT** annál hatékonyabb, minél közelebb van a PUE az 1-hez, de azt nem lehet elérni (a klimatizálás, hűtés, világítás, védelmi rendszerek,...stb. energiát igényelnek). A legjobb értéket a globális felhőszolgáltatók (AWS, MS Azure, Google Cloud, Meta és Apple) óriási, ún. **hiperskálázott** rendszerei mutatják (PUE:1,2)

3) Az adatközpontok kibocsátása

e) Villamosenergia fogyasztás és CO₂ kibocsátás - 2024

Electricity consumption, TWh, and CO2 emissions, Mt, in 2024

■ Data centres ■ Other sectors



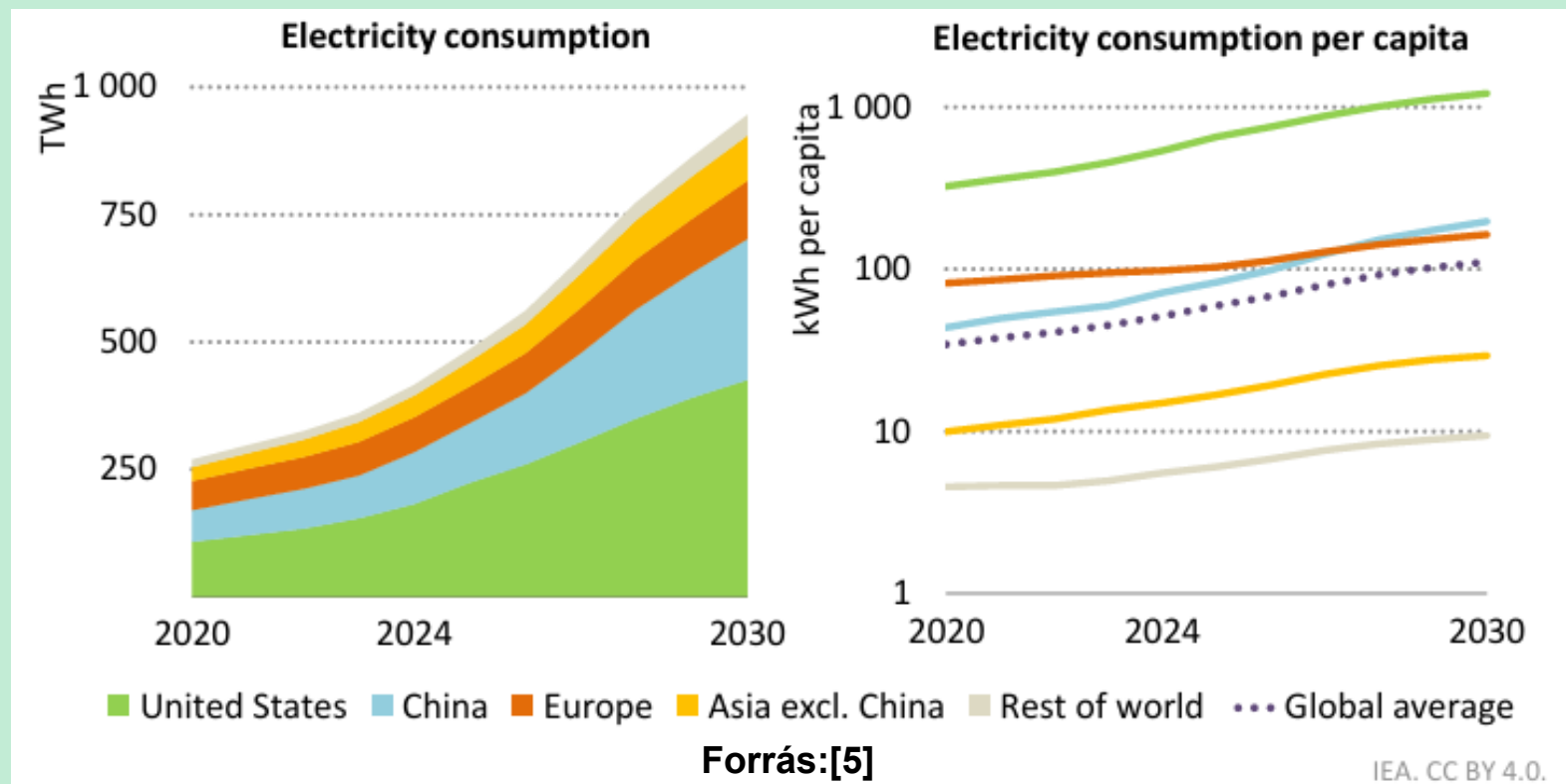
Source: IEA global energy review 2025, CO2 figures and report on energy and AI

CarbonBrief
CLEAR ON CLIMATE

Az **ADATKÖZPONTOK** villamosenergia fogyasztása 2024-ben **415 TWh** volt ami a **30.441 TWh** globális energiafogyasztás mindössze **1,4 %-a**. A CO₂ kibocsátás **180 Mt** volt, ami a globális fosszilis üzemanyagok elégetéséből származó **37,62 Gt** kibocsátás (IEA adat) kb. **0,5%-a**, (a globális ÜHG kibocsátás **0,3 %-a**).

3) Az adatközpontok kibocsátása

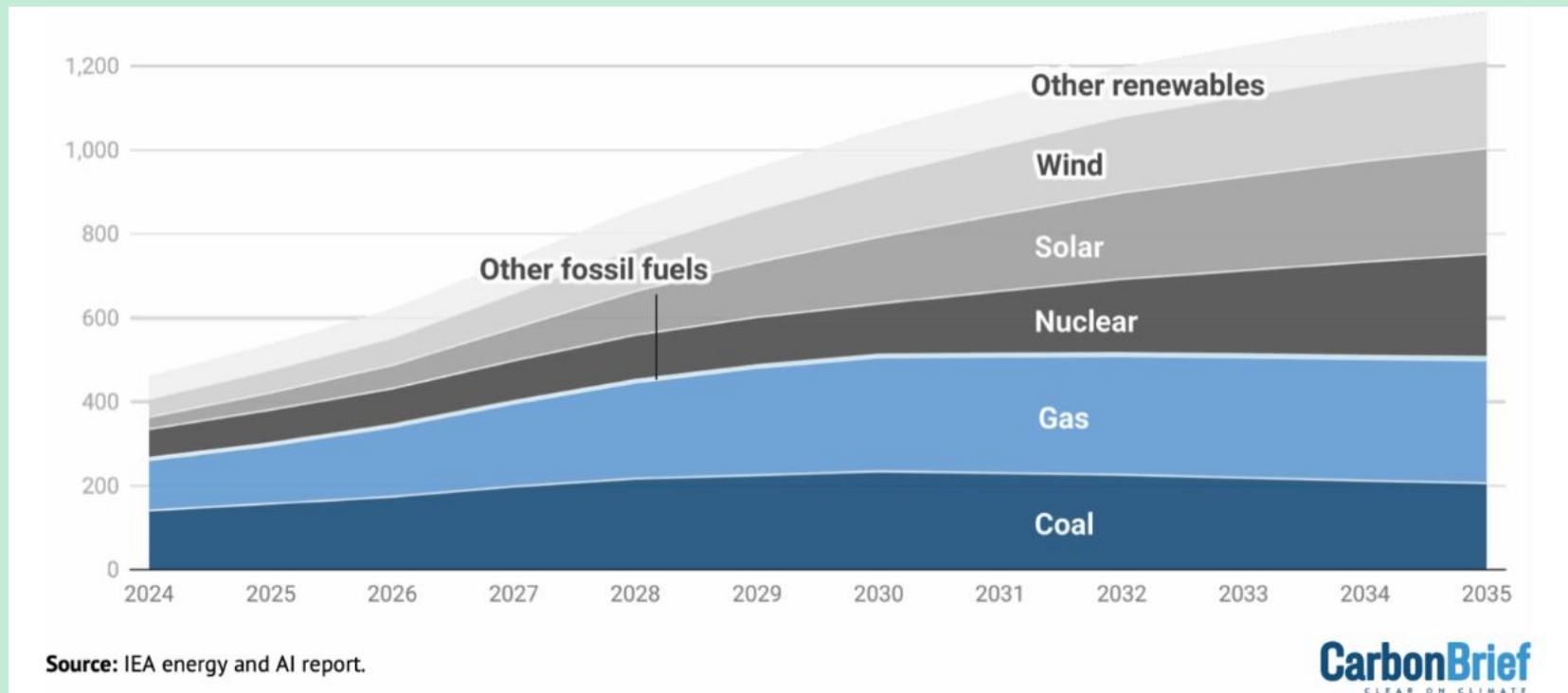
f) Villamosenergia fogyasztás 2020-2030



A Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) szerint az **ADATKÖZPONTOK** villamosenergia fogyasztása a **2024. évi 415 TWh**-ról **2030-ra** eléri a **945 TWh**-ot, ami a globális energiafelhasználás kb. **3 %-a** lesz, tehát a részaránya 2024-hez képest **a duplájára** nő. A villamosenergia felhasználás 2035-re **1193 TWh**-ra nő.

3) Az adatközpontok kibocsátása

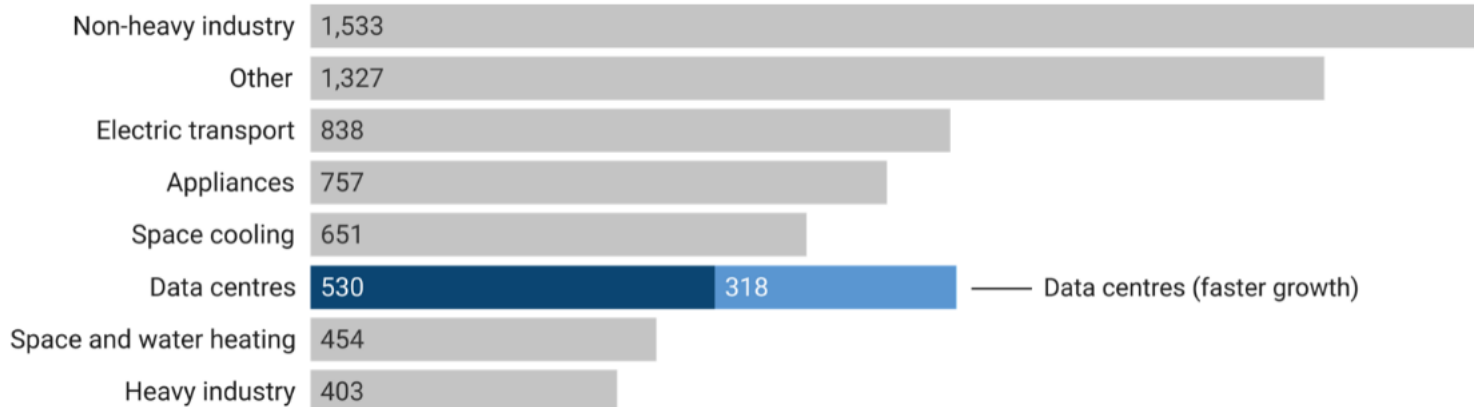
g) Energia-mix 2024-2035



Jelenleg globálisan **fosszilis** üzemanyagok (szén és földgáz) biztosítják az **ADATKÖZPONT**-ok villamosenergia igényének a **60 %**-át, a tiszta energia (megújuló és nukleáris) aránya **40 %**, de 2035-re az energia-mix arányok **megfordulnak**, elsősorban a **megújuló energia** egyre nagyobb térhódítása miatt.

3) Az adatközpontok kibocsátása

h) Villamosenergia igény növekedés 2024-2030



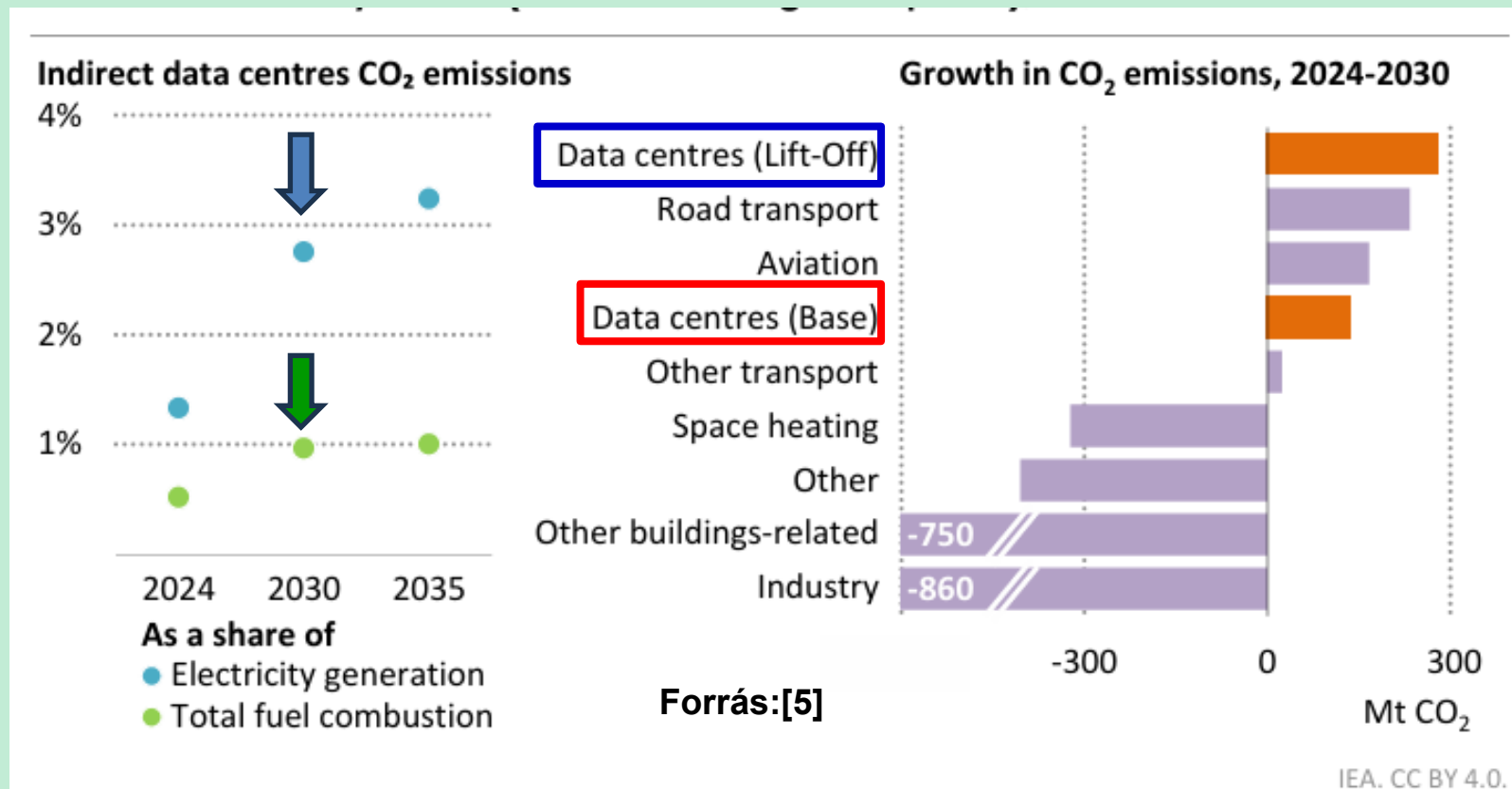
Source: IEA energy and AI report.

CarbonBrief
CLEAR ON CLIMATE

Az **ADATKÖZPONTOK** villamosenergia igény **növekedése 2024-2030** között a **globális** igénynövekedés mindössze **10 %-a**, **530 TWh** lesz (alapeset), de így is megelőzi a nehézipar (acél, alumínium, cement előállítás) vagy az épületek fűtés/melegvíz biztosításának villamosenergia igény növekedését. Nagyok a **regionális eltérések** az arányszámban: Japán: **50 %**, USA: **43 %**, de Kína: **7%**!

3) Az adatközpontok kibocsátása

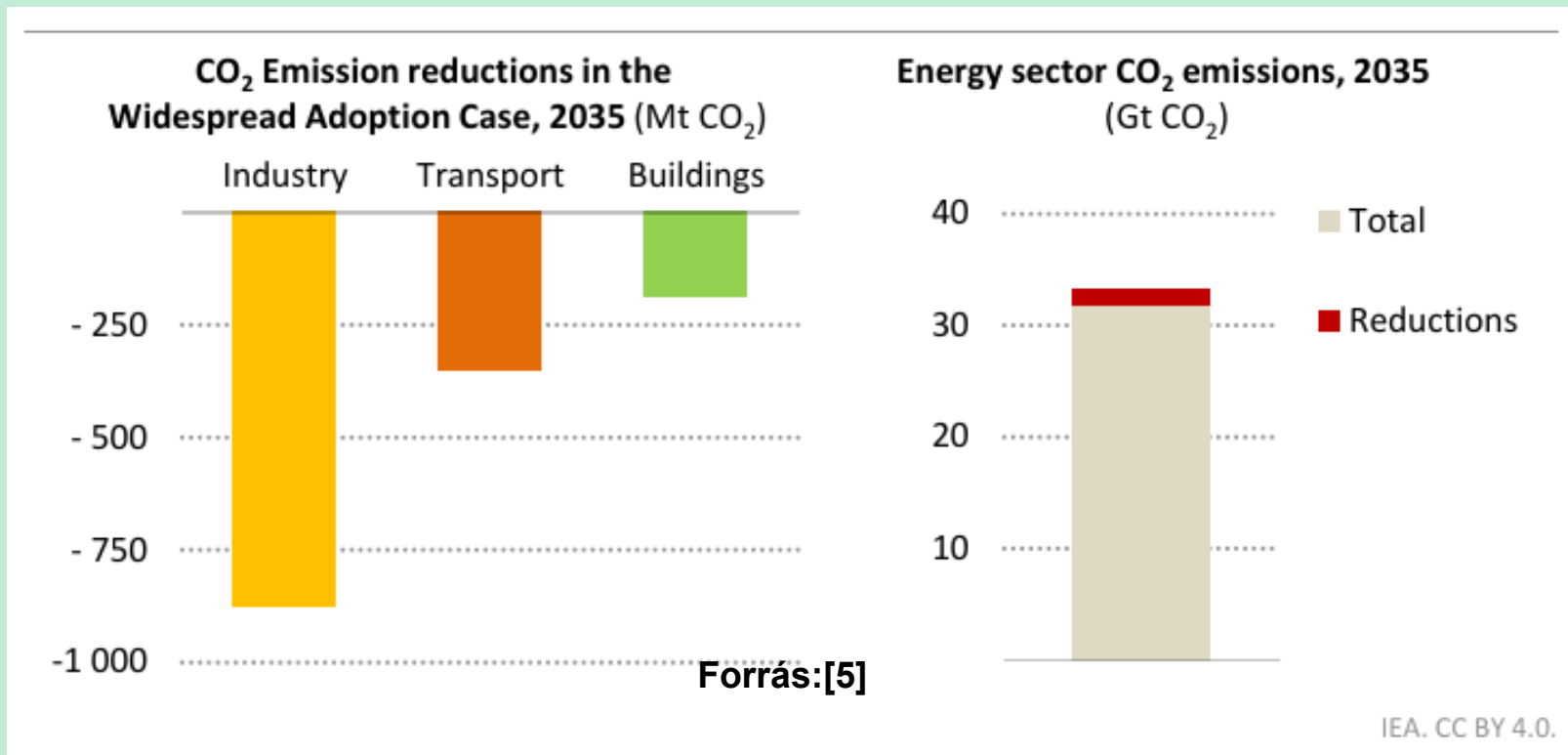
i) közvetett (Scope2) CO₂ kibocsátások 2024-2035



Az **ADATKÖZPONTOK** 2030-ra várhatóan a összes fosszilis üzemanyagok elégetésekor felszabaduló CO₂ kibocsátás **1 %-**át adják (ez lesz 2035-ben is!). Az **ADATKÖZPONTOK** közvetett CO₂ kibocsátása a 2024-es **180 Mt** értékről alapesetben **300 Mt**-ra nő 2030-ra (gyors MI elterjedésnél ez az érték közel **500 Mt**).

3) Az adatközpontok kibocsátása

j) Az MI kibocsátás csökkentő hatása 2035-re



Az MI **széleskörű elterjedését** feltételezve az iparban, a közlekedésben és az épületeknél (fűtés/hűtés) jelentős CO₂ kibocsátás **csökkenés** – kb. **1,4 Gt** – érhető el **2035-re**, ez azonban az energiaszektor kibocsátásának mindössze **4%-át** adja.

3) Az adatközpontok kibocsátása

k) Bizonytalansági tényező a számításokban - Jevons paradoxon



William Stanley Jevons

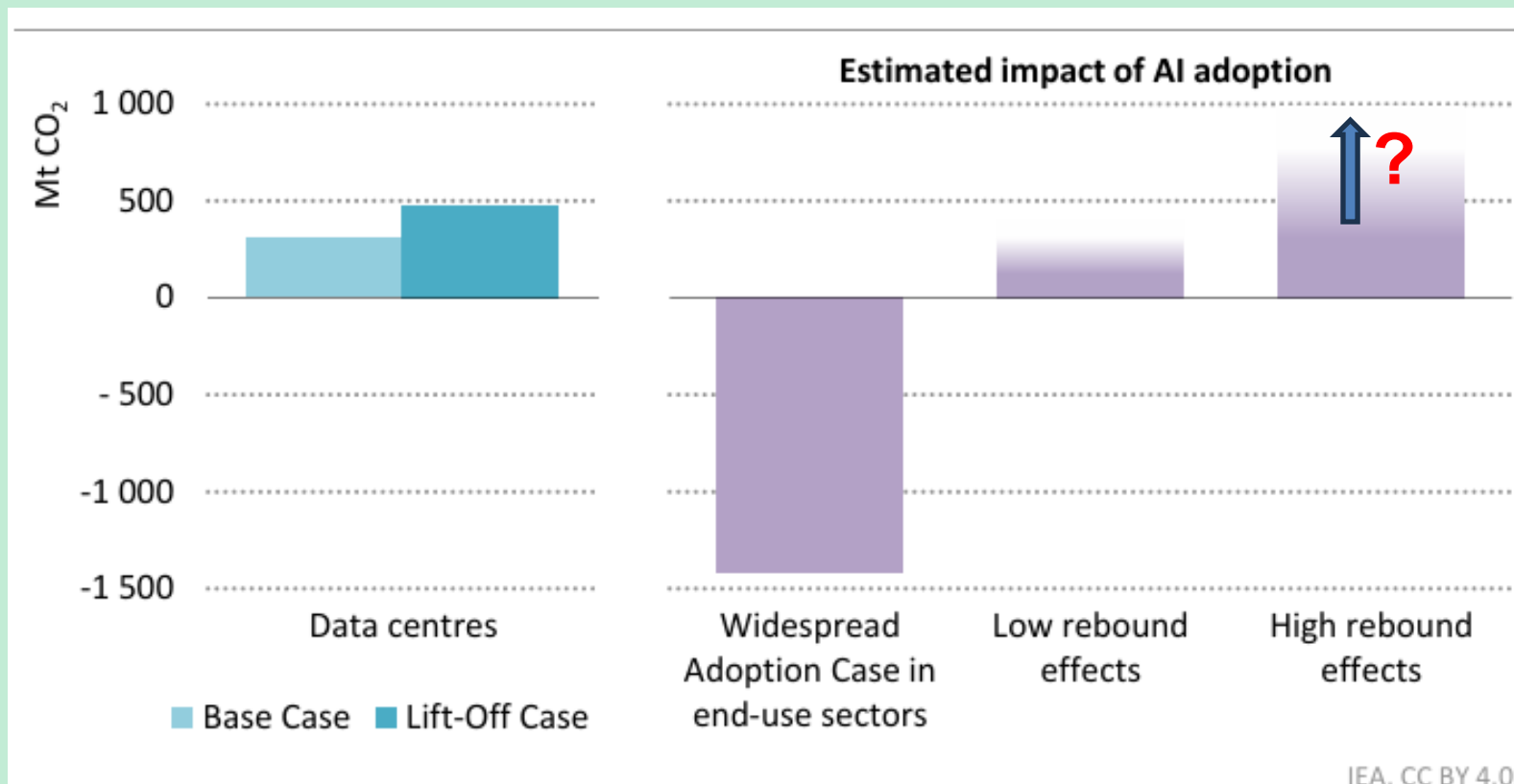
A Jevons-paradoxont elsőként **William Stanley Jevons** közgazdász írta le 1865-ben "A szénkérdés" (*The Coal Question*) című könyvében. Jevons megfigyelte, hogy Anglia szénfogyasztása megugrott azután, hogy James Watt bemutatta szénrel működő gőzgépét, amely nagyban felülmúlta Thomas Newcomen gőzgépeinek hatékonyságát. Watt fejlesztései a szenet egy költséghatékonyabb erőforrássá tették, amely az ipar több területén tette lehetővé a használatát, ez viszont növelte a teljes szénfogyasztást. **Forrás:[]**

A Jevons paradoxon a közgazdaságtudományban egy feltételezés, miszerint azok a technológiai fejlesztések, amelyek egy erőforrás kihasználásának hatékonyságát javítják, ahelyett hogy csökkentenék az erőforrás használatát, valójában növelik azt. A fajlagos hatékonyság növelés összességében nagyobb anyagfelhasználáshoz és megnövekedett kibocsátáshoz vezet (ez a visszapattanó hatás), mert az állandó növekedésen alapuló kapitalizmusban a vállalkozás az elért megtakarítást a termelés bővítésére használja. A visszapattanó hatás a fogyasztók vonatkozásában is fennáll.

A **Jevons paradoxon** (visszapattanó hatás egy esete) sok vezető közgazdász által **elfogadott elmélet**, konkrét számszerűsítése azonban **komplex feladat**, azonban nem lehet figyelmen kívül hagyni!

3) Az adatközpontok kibocsátása

1) Az MI alkalmazások becsült hatása - 2035



Forrás:[5]

Noha az MI alkalmazások révén várható kibocsátás csökkentések a különböző gazdasági szektorokban **jóval meghaladják** az **ADATKÖZPONTOK** saját kibocsátását - az MI széleskörű elterjedése esetén közel háromszorosán: **1400 Mt** - a visszapattanó hatás ezt jelentős mértékben **hatástalaníthatja**.

4) Konklúziók (1)

- ❑ Az **IPCC** szerint a **globális ÜHG kibocsátás** továbbra is **növekvő** pályán van a dekarbonizációs törekvések ellenére! A jelenlegi vállalások (NDC) **teljes mértékű** teljesítése esetén a globális felszíni átlaghőmérséklet emelkedése **2,3 C°** lesz 66 %-os valószínűséggel **2100-ra** az iparosodás előtti kor szintjéhez képest. Amennyiben a Net-zéró vállalások **is** teljesülnek, akkor **2 C°** alá kerülhet.
- ❑ A **Nemzetközi Energiaügynökség** adatai szerint az **ADATKÖZPONTOK villamosenergia** fogyasztása 2024-ben **415 TWh volt**, ami mindössze **1,4 %-a** volt a **globális** energiafogyasztásnak. Ez az érték **2030-ra 945 TWh-ra** fog nőni (nagyraoszt az MI miatt), ami a globális energiafogyasztás kb. **3 %-a** lesz, tehát több, mint **megduplázódik!**
- ❑ A klímaváltozás szempontjából kedvezőtlenül, jelenleg a **fosszilis üzemanyagok** (**szén** és földgáz) biztosítják az **ADATKÖZPONT**-ok villamosenergia fogyasztásának a **60 %-át**, a **tiszta energia** (megújuló és nukleáris) aránya **40 %**.
- ❑ Az **ADATKÖZPONTOK CO₂ kibocsátása** 2024-ben **180 Mt** volt, ami kevesebb mint **0,5%-a** az energia-szektor globális CO₂ kibocsátásának. Ez az érték 2030-ra alapesetben **300 Mt-ra** fog nőni, ami kb. **1 %** lesz a globális CO₂ kibocsátásnak. A Nemzetközi Energiaügynökség szerint ez az érték marad 2035-ig!

4) Konklúziók (2)

- ❑ A Nemzetközi Energiaügynökség adatai szerint jelenleg az **ADATKÖZPONTOK** a globális energiahasználat és CO₂ kibocsátás **csekély** részéért felelősek, így szerepük a globális felmelegedésben **túlhangsúlyozott!** Ugyanakkor az MI alkalmazások elterjedésétől függően jelentős energia fogyasztási/kibocsátás **növekedési potenciáljuk** van.
- ❑ Az **ADATKÖZPONTOK** villamosenergia igény növekedése 2024-2030 közötti időszakban alapesetben a **globális** igénynövekedés **10 %-a (530 TWh)** lesz, de nagyok a **regionális eltérések** ebben az arányszámban: Japán: **50 %**, USA: **43 %!**
- ❑ Az MI **széleskörű elterjedését** feltételezve az iparban, a közlekedésben és az épületeknél jelentős **CO₂ kibocsátás csökkenés** – kb. **1,4 Gt** – érhető el **2035-re**, ez azonban az energiaszektor kibocsátásának mindössze kb. **4%-át** adja. Ez azt jelenti, hogy **túlzottak** az elvárások azt illetően, hogy az MI optimalizáló hatása révén jelentősen csökkennek majd az energiaszektor kibocsátásai.
- ❑ Az MI alkalmazások **visszapattanó hatása** a világgazdaságban jelenleg még pontosan nem számolható. Ezen hatás mértékétől függően, az MI **csökkentheti**, de ugyanakkor **növelheti** is a globális ÜHG kibocsátást! Ez még egy nyitott kérdés.

Irodalomjegyzék

[1] UNEP: Emissions Gap Report 2025: Off target: Continued collective inaction puts global temperature goal at risk

[2] Recommendation ITU-T L.1450 Methodologies for the assessment of the environmental impact of the information and communication technology sector

[3] Recommendation ITU-T L.1470 Greenhouse gas emissions trajectories for the information and communication technology sector compatible with the UNFCCC Paris Agreement

[4] Patterns Review: Charlotte Freitag, Mike Berners-Lee, Kelly Widdicks, Bran Knowles, Gordon S. Blair, and Adrian Friday Small World Consulting, Lancaster University; The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends and regulations

[5] International Energy Agency: Energy and AI-World Energy Outlook Special Report

[6] GREENHOUSE GAS PROTOCOL Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard



***KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ
FIGYELMET!***

KÉRDÉSEK?