

*„XXVI. Városi közlekedés aktuális
kérdései és CityRail 2026”*

*Balatonfenyves
2026.09.09.*

ENERGIAGAZDÁLKODÁS ÉS A MEGÚJULÓ ENERGIÁK HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI A VÁROSI KÖZLEKEDÉSBEN

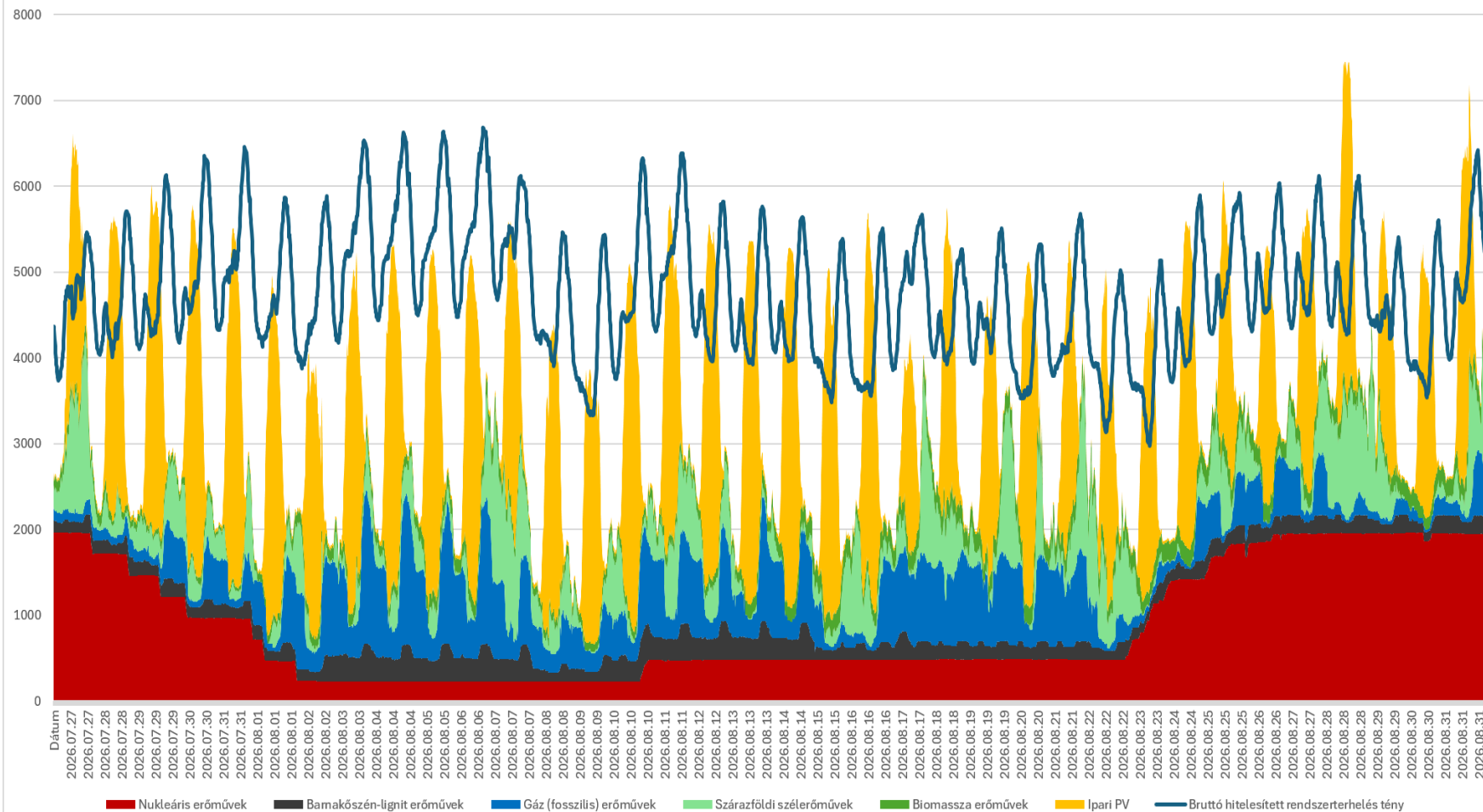
Felsmann Balázs
Egyetemi docens, BCE
Kutató főmunkatárs, REKK

Bevezető

- Az előadás a 20 perces időkeret figyelembevételével nem vállalkozik a közlekedési rendszerek és a megújuló energiák közötti összefüggésrendszer teljes áttekintésére, így csak egy szegmenst, az e-autók elterjedésének energiapiaci és közlekedési hatását vizsgálom.
- A magyar villamosenergia-rendszerben jelentős és egyre növekvő a megújuló energiaforrások, így kiemelten a napenergia részaránya. A termelés szerkezeti változása miatt az energiaár napon belül jelentősen változik, ami felértékeli a rugalmassági képességeket.
- Az elektromos járművek beépített akkumulátorai nagyobb tárolókapacitást testesítenek meg, mint a villamosenergia-rendszerbe épített tárolók. Bevonásuk a rendszerszintű rugalmasság erősítésébe mind a költségek, mind a rendszerterhelés szempontjából jelentős lehetőség a technológiai és használati korlátatok figyelembevétele mellett.
- A jelenlegi töltési szokások változásának előfeltétele az okos mérők és a dinamikus árak alkalmazása.
- A REKK Electric Vehicle Flexibility Model (EVFM) modellje lehetőséget biztosít különböző töltési, rugalmassági és járműhasználati profilok elemzésére és a közvetlen és közvetett (rendszerterhelésben kimutatott) hasznok számszerűsítésére.

Kezdjünk egy kicsit távolabbról...

2026 július 27. és augusztus 31. közötti villamos energia termelési és fogyasztási adatok, a széltermelés elvi tízszeresével



Forrás: MAVIR, a szélenergia adatok módosításával

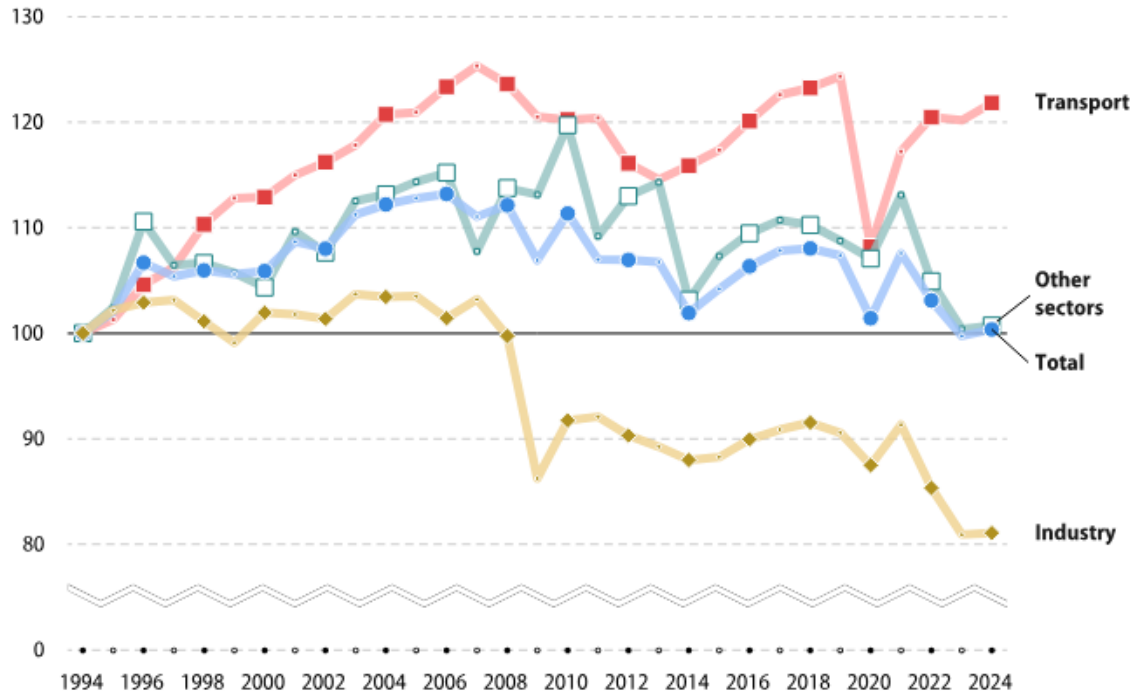
Az ábra a 2026. július 27. és augusztus 31. közötti időszak tényadatait tartalmazza, módosítva a széltermelést, amelynél a valós érték 10-szeresét ábrázoltuk. Ez a változtatás azt kívánta szemléltetni, mennyiben változott volna a hazai rendszer állapota, ha jóval jelentősebb (kb. 3000 MW) beépített szélenergia kapacitással rendelkeznénk. Az ábra egy rövid időszakot illusztrál, így nem alkalmas a szélenergiára vonatkozó általános következtetések levonására.

- A magyarországi áramtermelés a PV túlsúly miatt volatilis, napon belül ugyanakkor jól előrejelezhető.
- A jelentős tervezett szélenergia-fejlesztések sem tudnak érdemben változtatni a termelés hullámzásán
- A rugalmasság (termelői és fogyasztói) egyre inkább felértékelődik.
- Az elektromos közlekedés fejlesztése jelentős többlet rugalmassági potenciált kínál, kedvező megtérülési feltételekkel.

Trendek a közlekedési szektor energiafelhasználásában és ÜHG kibocsátásában

Final energy consumption, by end use

(1994 = 100, based on joules, EU, 1994–2024)



Note: data presented as an index with 1994 = 100. The residual category of other sectors includes residential use, agriculture, forestry and fishing, and services other than transport. Break mark included in the y-axis.

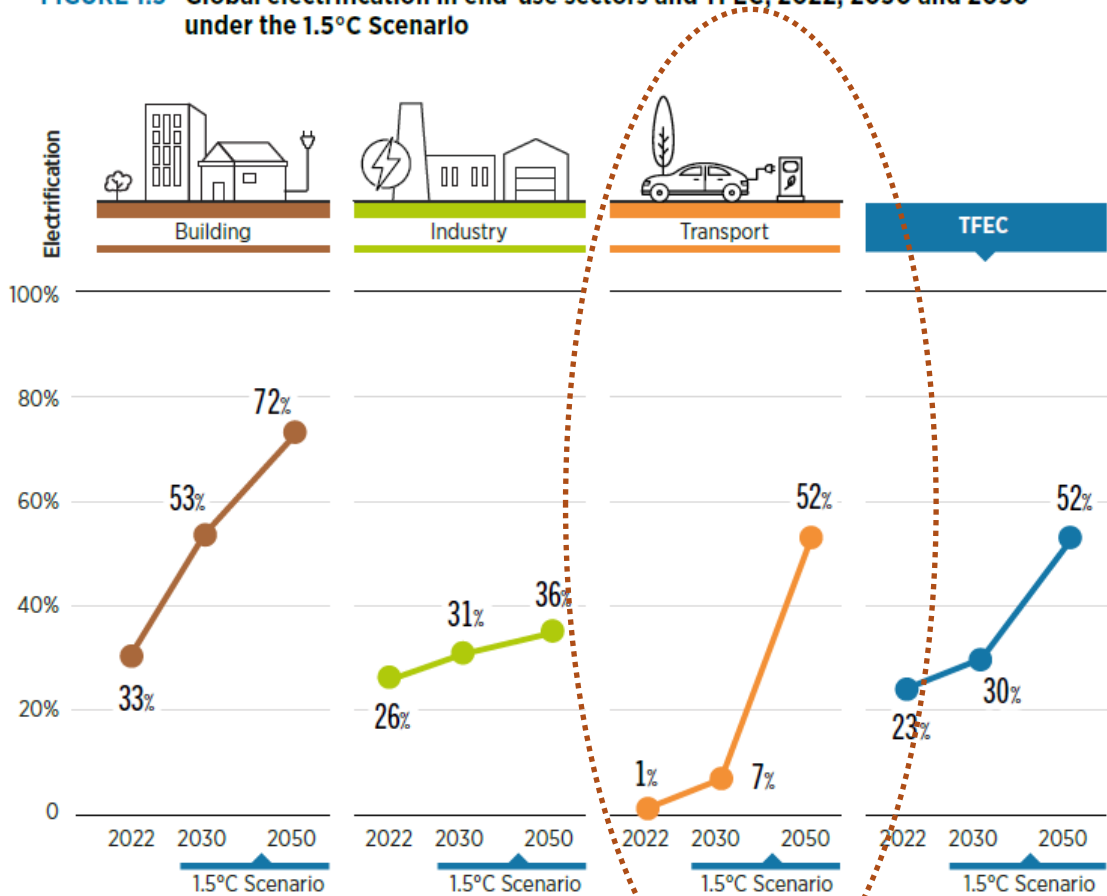
Source: Eurostat (dataset code: [nrg_bal_s](#))

Source: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-key-figures/w/ks-01-26-035>

- Magyarországon a közlekedés hozzájárulása a teljes kibocsátáshoz 2022-ben 26,3% volt. A **közúti közlekedés** 2022-ben a közlekedési ágazat teljes ÜHG kibocsátásának **93,7%-át** tette ki. Ezt követte a polgári légi közlekedés (5,1%) és a vasúti közlekedés (0,7%).
- Míg az EU-ban (EU-27) a legtöbb ágazatban csökkent az üvegházhatású gázok kibocsátása, a közlekedésből származó kibocsátás 1990 és 2019 között több mint 30%-kal nőtt, majd a COVID-19 miatt visszaesett, de 2022-re ismét **20%-kal nőtt** az 1990-es szinthez képest.
- Magyarországon a közlekedésből származó kibocsátás 1990 és 2019 között 9,4 Mt-ról 15,6 Mt-ra (65%) nőtt és 2022-ben meghaladta a COVID-19 előtti szintet (**15,9 Mt**), ami **69%-os növekedést** jelent 1990-hez képest.

Ambiciózus globális célok a (közúti) közlekedési szektor elektrifikációjára

FIGURE 1.5 Global electrification in end-use sectors and TFEC, 2022, 2030 and 2050 under the 1.5°C Scenario

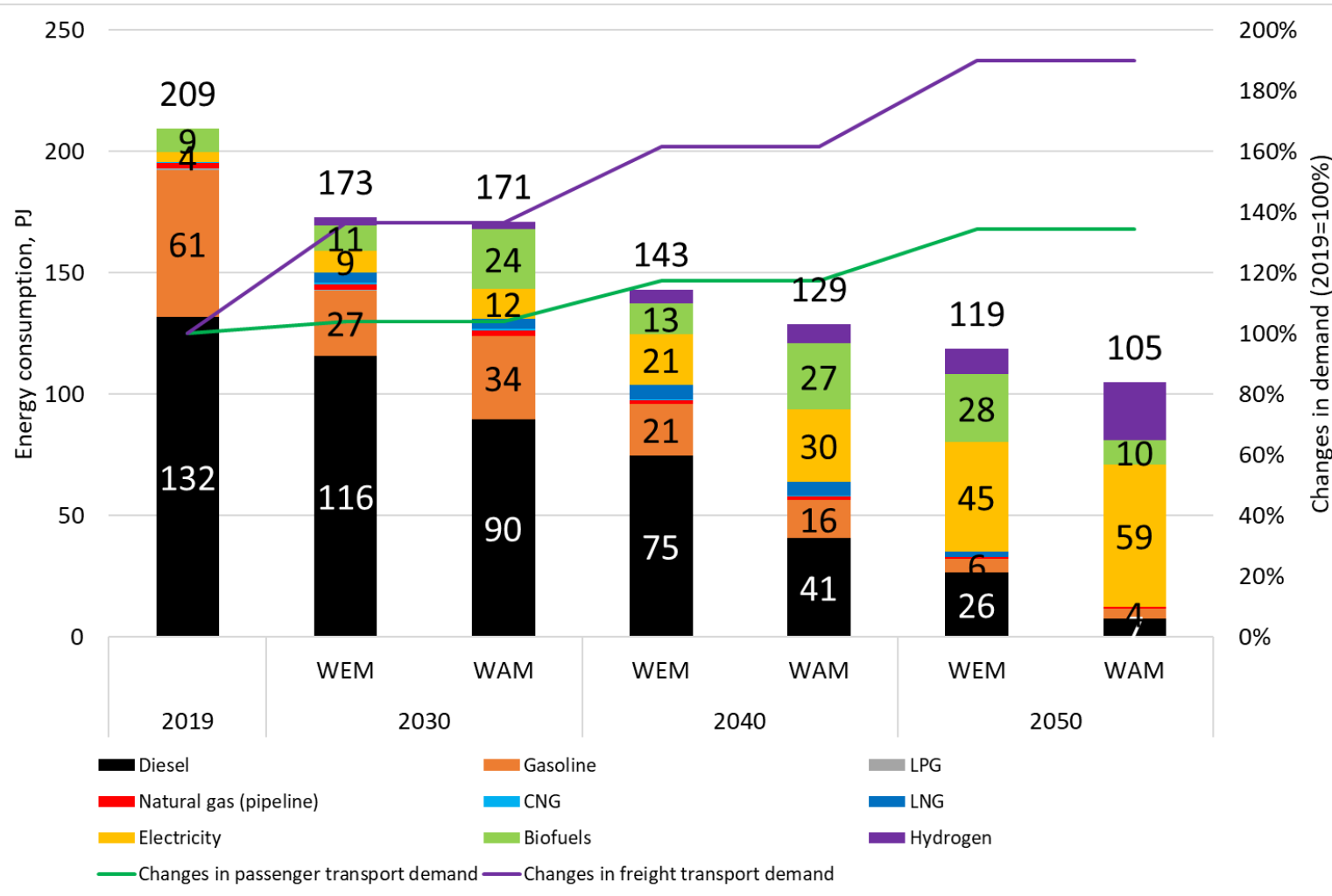


Source: Historical data from (IEA, 2024b)
Note: TFEC = total final energy consumption

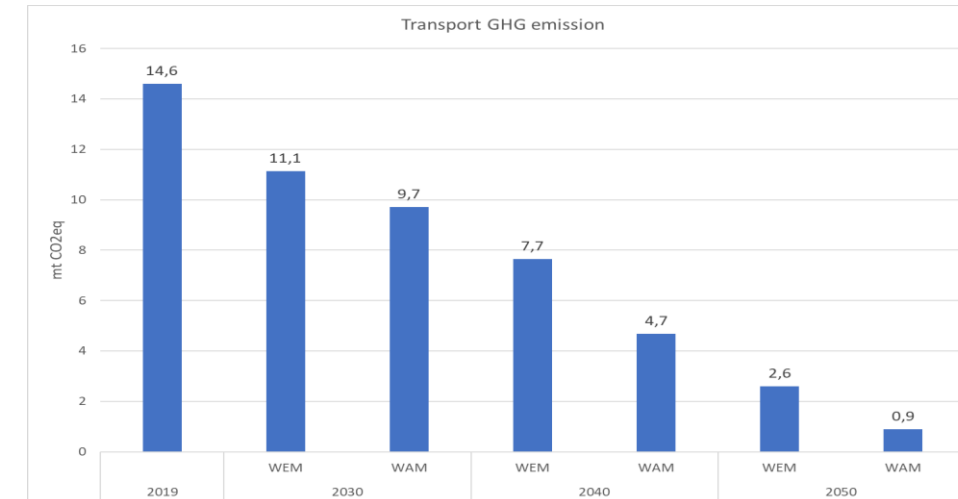
ELECTRIFICATION OF END-USE CONSUMPTION	Indicators	Recent years	PES Scenario 2030 ^[1]	1.5°C Scenario 2030	Progress (off/on track)
	Electrification rate in TFEC (%)	23% ^[5]	23%	30%	
	Electric and plug-in hybrid light passenger vehicles stock (million)	40 ^[6]	255	360	
	Heat pumps in buildings (GW)	1280 ^[7]	1943	8937	
	Heat pumps in industry and in DH systems (GW)	No data/ negligible ^[8]	16	434	

Forrás: IRENA. World Energy Transitions Outlook 2024

A közlekedési ágazat tervezett energiaigénye és emissziója – a frissített magyar nemzeti energia- és klímaterv alapján



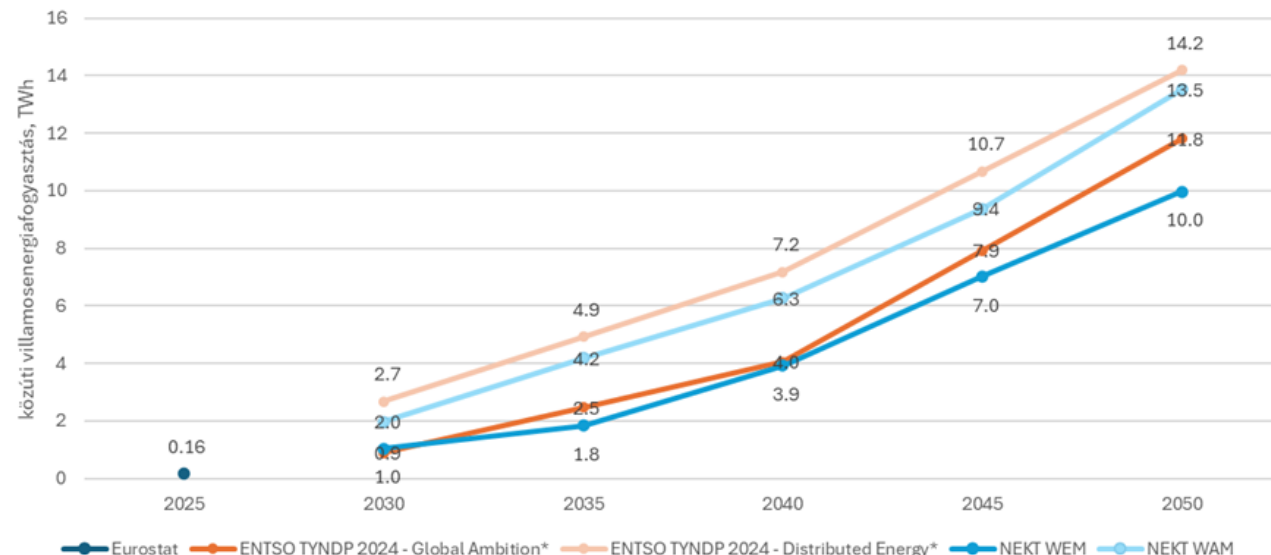
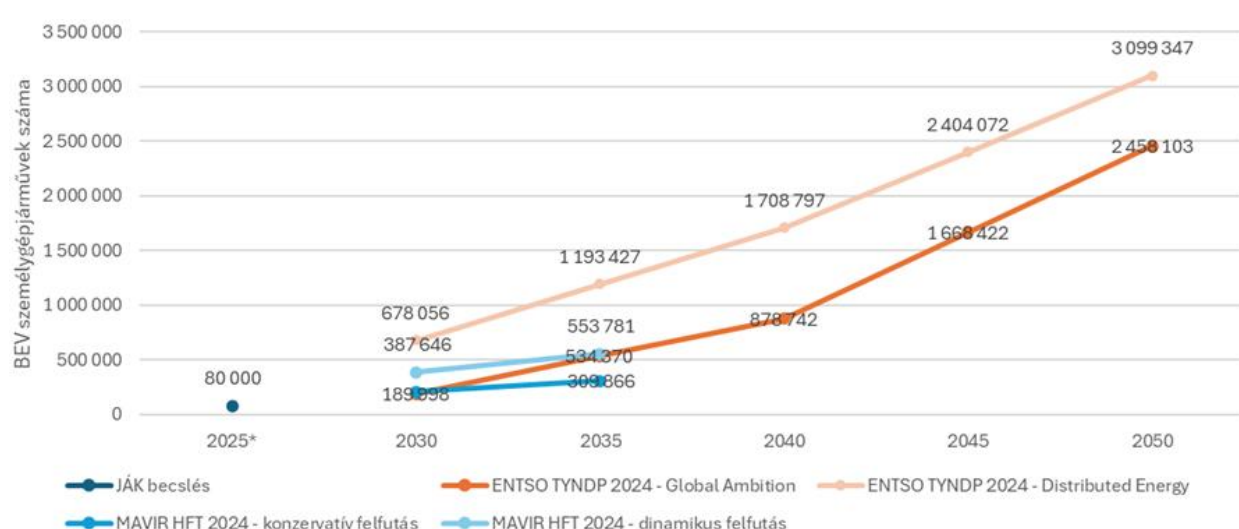
Kihívás: Jelentős energiafogyasztás csökkenés a közlekedési igények növekedése mellett.
Az elektrifikáció mellett a módváltás is kulcsfontosságú a célok elérésének biztosítására.



Magyarországi EV várakozások 2050-ig

- Az EV-k térnyerése gyorsul, de a gyorsulás mértéke még bizonytalan: **a magyar tisztán elektromos személygépjárműflotta 2035-re elérheti az 500 ezret**, vagyis a jelenlegi, körülbelül 100 ezres BEV állomány (a teljes flotta 2,3%-a) tíz év alatt több, mint az ötszörösére növekszik.
- Még **nagyobb a bizonytalanság a flotta várható villamosenergia fogyasztásában**, kulcstényezők: átlagos fogyasztás és futásteljesítmény
- A közúti közlekedés villamosenergia-igénye a 2023-as 0,16 TWh-ról 2050-re akár **10-14 TWh-ra** is növekedhet a különböző előrejelzések szerint. (A teljes hazai villamosenergiafogyasztás 2025-ben körülbelül 45 TWh volt.)

Tisztán elektromos személygépjárművek terjedése és villamosenergia-fogyasztása az EU-ban 2050-ig



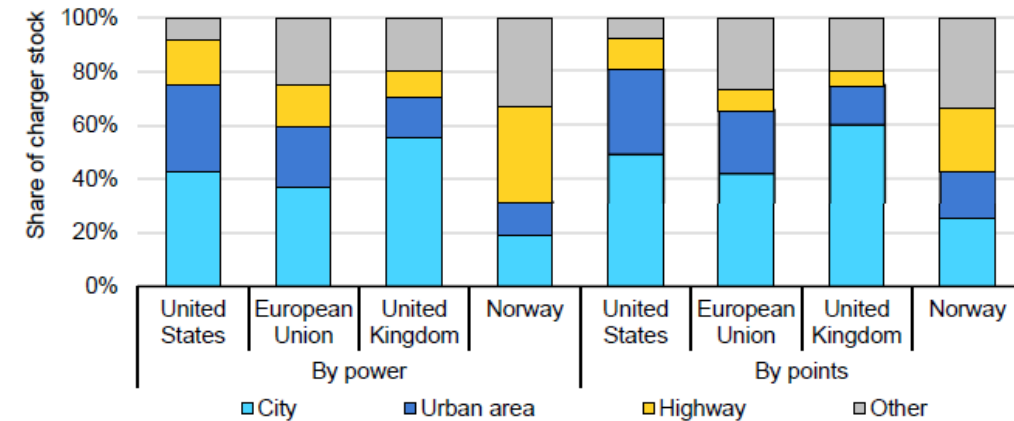
Forrás: Eurostat, ENTSO TYNDP 2024, Nemzeti Energia- és Klímaterv

Megjegyzés: az ENTSO TYNDP scenáriók esetében csak a személygépjárművek villamosenergia-fogyasztása szerepel az ábrán

Az elektromos közlekedés infrastrukturális kihívása: töltési infrastruktúra a városokban – hol legyenek a töltőpontok?

Nincs eleve elrendelt válasz a „Hol töltünk?” kérdésre. Globálisan és az európai városok gyakorlatában is jelentősek az eltérések a publikus töltőkapacitások elhelyezkedése és sűrűsége tekintetében.

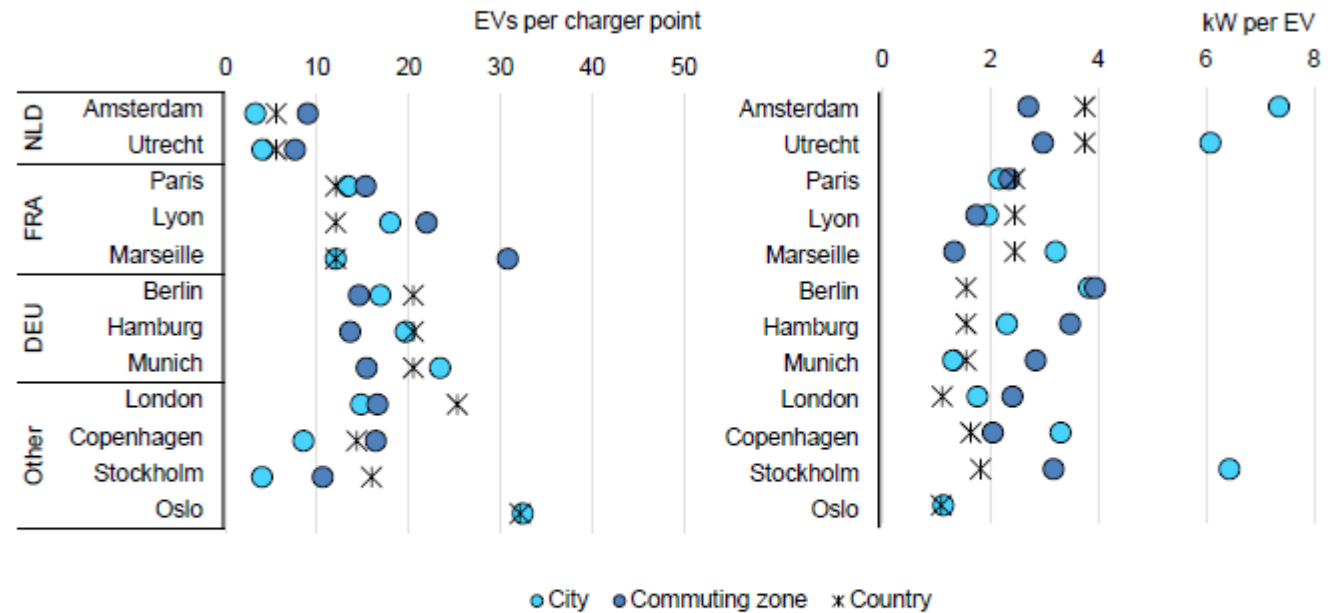
Location of public charging stock by capacity and number of charging points in selected regions and countries, 2024



IEA. CC BY 4.0.

Sources: IEA analysis based on US AFDC, EAFO and Eco-Movement. Urban areas for Europe are taken from the Functional Urban Areas of 2020 and consists of the city and the commuting zone. Urban areas for the United States are the Census Populated Place Areas from the US Energy Atlas.

Charger to electric vehicle ratio and kW per electric vehicle for selected cities and their commuting zones, and country averages, 2024



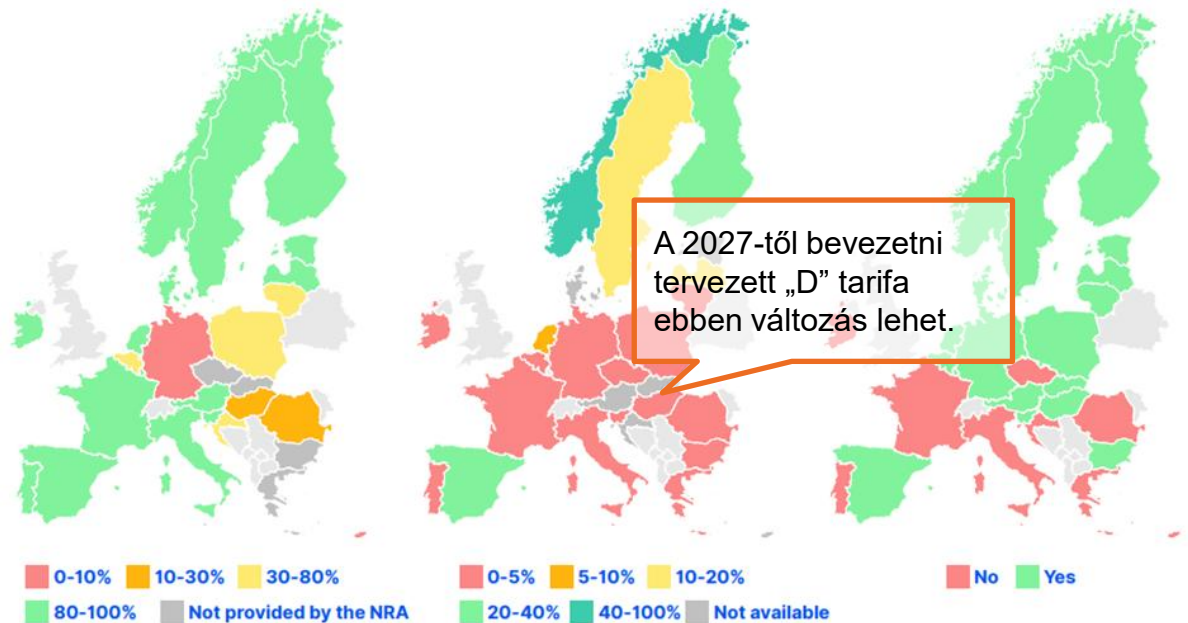
IEA. CC BY 4.0.

Notes: NLD: Netherlands; DEU: Germany; FRA: France. Data on chargers in Oslo's commuting zone are not available. Sources: IEA analysis based on national statistics, EAFO and Eco-Movement. City EV stock: NLD: [Atlas van de auto](#); FRA: [AAA Data](#); DEU: [KBA](#); London: [Department for Transport and Driver and Vehicle Licensing Agency](#); Stockholm: [TRAFI](#); Oslo: [SSB](#); Copenhagen: [SDG Statistikbank](#); number and capacity per city and commuting zone was determined using point location of charger database of Eco-Movement, consulted February 2025.

Az elektromos járművek, mint rugalmassági eszközök és ennek szükséges feltételei

- A magas parkolási arány (az idő 95%-a) miatt az elektromos autók töltése **nemcsak energiaigény, hanem rendszerflexibilitási lehetőség is.**
- A felhasználók szokásaikat (a számukra legkényelmesebb töltést) akkor hajlandóak megváltoztatni, ha arra vonatkozóan **valamilyen ösztönzővel** rendelkeznek: **töltés költsége/ár**
 - Ehhez elengedhetetlen az okosmérők és a dinamikus tarifák megléte
- Európában a dinamikus lakossági árak még korlátozottan terjedtek el, de a ToU tarifák és az okosmérők terjedése egyre nagyobb szerepet játszik az otthoni EV-töltés időzítésében

Okosmérők bevezetése (%) (bal), a piaci alapú dinamikus áras szerződések elterjedtsége a háztartások körében (%) (középen), valamint a dinamikus áras szerződéseket összehasonlító eszközök elérhetősége (jobb) az EU-27-ben és Norvégiában (2024)



Forrás: ACER, a szabályozó hatóságok által közreadott adatok alapján

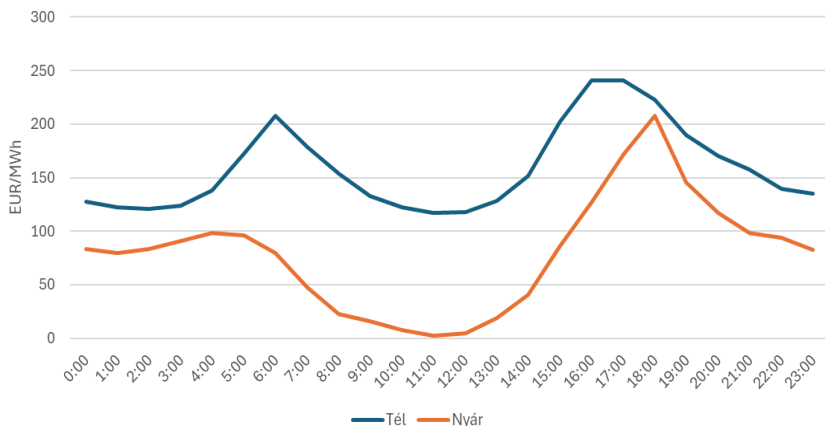
REKK EVFM modell célja: egy olyan modell létrehozása, amelyben bemutatható és vizsgálható az elektromos személygépjárművek töltésének flexibilitásában rejlő lehetőség

EV-flotta villamosenergia-piaci kontextusban

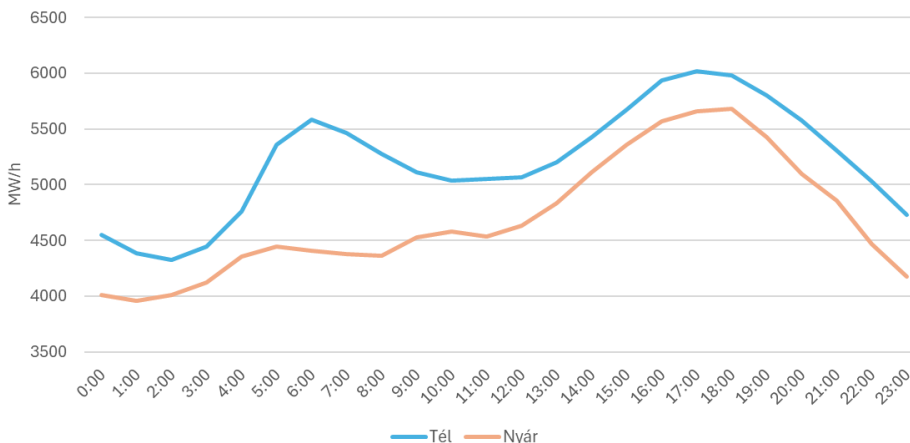
„Százezer villanyautó országa lettünk”

- 2025 végére a hazai tisztán elektromos járműflotta elérte a százezret (villanyautosok.hu)
- Ezek alapján körülbelül **5000 MWh-nyi „akkumulátor” közlekedik az utakon**, ehhez képest kevesebb, mint 2000 MWh tárolókapacitás rendelkezik villamosenergiapiaci engedéllyel (ezeknek csak kisebb része üzemel jelenleg)
 - Az Otthoni Energiatároló Program: + 400-800 MWh kapacitás
- Ha mindenki egyszerre dugja az autóját a hagyományos konnektorra az +230-320 MW rendszerterhelést jelent
 - Otthoni fali töltőket feltételezve ez az érték 740-1100 MW is lehet!

Nagykereskedelmi ár



Rendszerterhelés



Forrás: ENTSO-E

Az utazási igényeket és a töltési lehetőségeket szem előtt tartva, milyen mértékben használható ki a töltés időbeli eltolásában rejlő lehetőség?

A REKK Electric Vehicle Flexibility Model (EVFM) felépítése

A BEV-ekre vonatkozó paraméterek

- EV-k száma
- EV-k (átlagos) akkumulátor kapacitása (kWh)
- EV-k (átlagos) fogyasztása (kWh/km)
- Töltési (és visszatöltési) kapacitás/sebesség (kW/h)
- Töltési (és visszatöltési) hatékonyság (%)
- Kezdeti töltöttségi szint (%)

A járművek felhasználására vonatkozó paraméterek

- Éves (átlagos) futásteljesítmény (km)
- Vezetési/felhasználási profil (%/óra)
- Töltési profilok töltés-típusonként (%/óra)
- Minimális és maximális töltöttségi szint (%)
- Rendelkezésre-állási profil (%)
- Flexibilis töltési típusok (Y/N)
- Flexibilitásban résztvevők aránya (%)

Külső tényezők

- **A flexibilitásban résztvevők által érzékelt ár:** órás bontású árpálya, amelyre a flexibilitásban résztvevő felhasználók reagálnak (EUR/MWh)
- **Teljes rendszerterhelés** (MW)

REKK-EPMM

- **Flotta szintű töltésoptimalizációs modell, ami a töltési költségek és a rendszerterhelési hatások vizsgálatára készült**
- Órás bontás, 168 órás időhorizont (hétköznapi-hétvége, tél-nyár)
- Három járműtöltési mód eltérő hálózati rugalmasság
 - **A szabályozatlan töltés:** nem biztosít rugalmasságot, csak terhelés
 - **A rugalmas töltés (Flex):** költségminimum szerinti optimális töltés
 - **A Vehicle-to-Grid (V2G):** töltési és visszatöltési képességek

REKK-EVFM

Magyarországi kilátások négy forgatókönyv alapján (2035)

Alaphelyzet - Magyarország 2035: 550 ezer EV (NEKT WAM), 15000 km átlagos éves futásteljesítmény, 20 kWh/100 km átlagos fogyasztás, órás bontású végfelhasználó árak nyári és téli reprezentatív hét esetén (EPMM), bruttó fogyasztás 1,9 TWh

1 Flexibilis vállalati flotta töltés a munkahelyen

- A teljes EV flottán belüli magas céges állomány fele (50 ezer EV) a munkahelyén a lehetőségeket kihasználva dinamikus árak mellett tölt

2 Flexibilis otthontöltés

- Az okosmérők terjedése és a dinamikus lakossági tarifák megjelenése mellett az otthontöltő felhasználók 20%-a (100 ezer EV) dinamikus tarifák mellett tölti autóját.

3 Flexibilis otthoni és munkahelyi töltés

- A felhasználók (50 + 100 ezer EV) a munkahelyükön és az otthonukban is képesek dinamikus árak mellett tölteni, mindkét infrastruktúra lehetőségeit képesek kihasználni.

4 Flexibilis otthoni és munkahelyi töltés V2G mellett

- A felhasználók (50 + 100 ezer EV) a munkahelyükön és az otthonukban is képesek dinamikus árak mellett tölteni, azok fele pedig képes V2G szolgáltatást is nyújtani, amely esetén bevételek a nagykereskedelmi ár.

Eredmények

- Költségek változása** a flexibilitásban résztvevő felhasználók szempontjából
- Rendszerterhelésre gyakorolt hatás** a legmagasabb árú és rendszerterhelésű órák esetében, többletterhelések, magas rendszerterhelésű órák számának változása

Jelentősen eltérő megtakarítási lehetőségek télen és nyáron 2035-ben

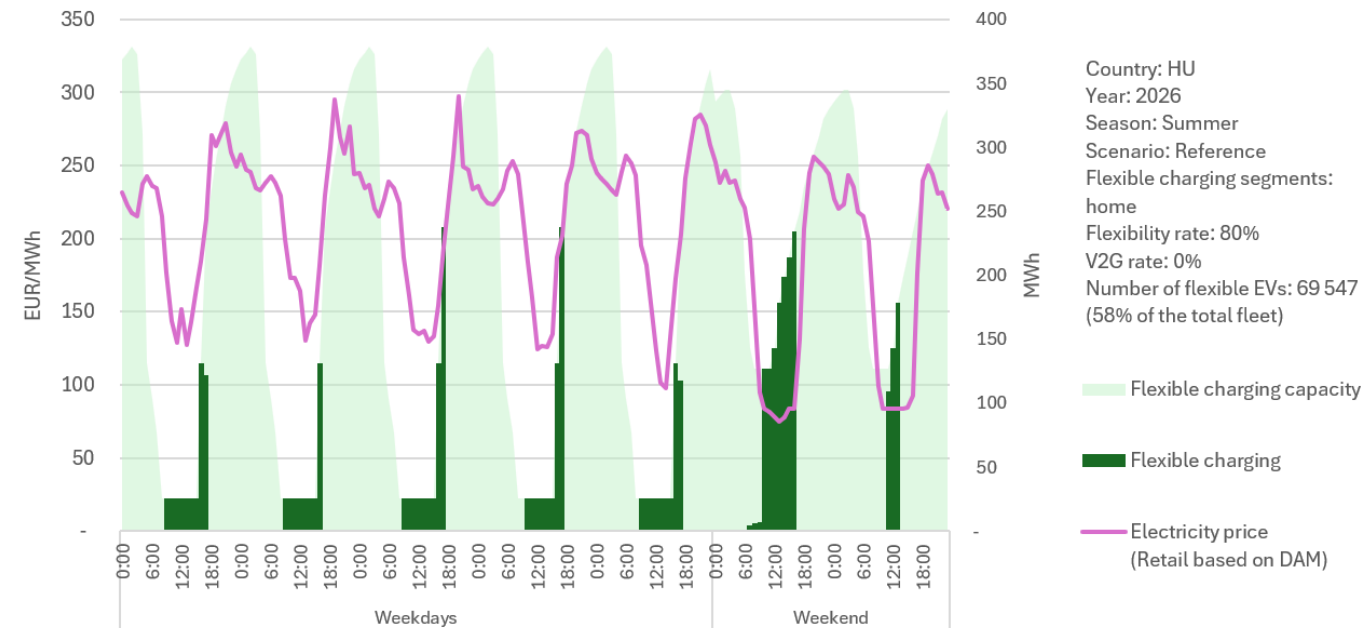
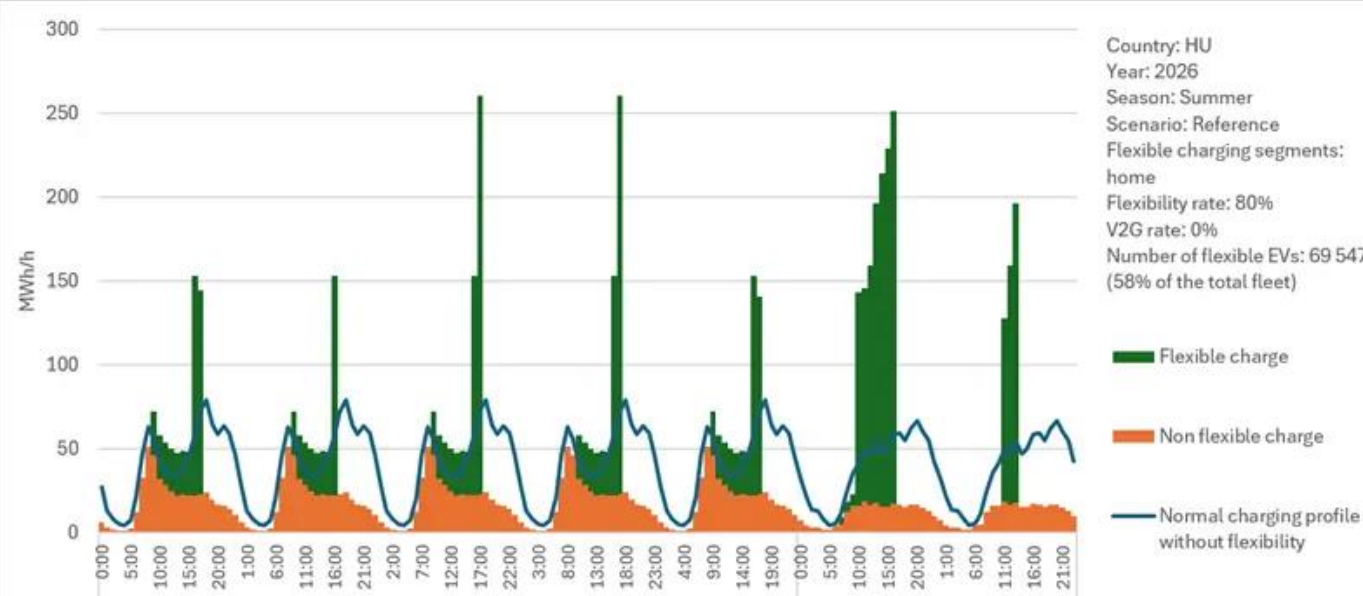
- A **nyári hét esetében** lényegesen **magasabbak a költségcsökkentési lehetőségek** a volatilisabb árgörbe miatt:
 - A csak munkahelyi töltési lehetőségek esetén az átlagárhoz képest nagy a megtakarítási (nyár) potenciál (-47%), a „megszokott” munkahelyi töltési profilhoz képest korlátos (-19-11%)
- Nincs jelentős különbség a csak otthoni és a flexibilis otthoni + munkahelyi töltés között**
 - Nyár: -54-51%; Tél: -11-7%
- A **V2G** képesség a **nyári héten további költségmegtakarítást eredményez** (-65-63%), **télen** viszont a hálózati díjak magas értéke miatt az optimalizáló fogyasztók **nem töltenek vissza**.

Töltésoptimalizáló felhasználók költségmegtakarítása az egyes forgatókönyvekben

	Dinamikus árak mellett "megszokott" töltési profilhoz képest		Átlagos "fix" árhoz képest	
	Nyári hét	Téli hét	Nyári hét	Téli hét
Flexibilis csak munkahelyi töltés	-11-19%	-6%	-47%	-6%
Flexibilis csak otthoni töltés	-51-54%	-8-9%	-46%	-7%
Flexibilis otthoni és munkahelyi töltés	-52-55%	-10-11%	-47%	-8%
V2G melletti otthoni és munkahelyi töltés	-65-63%	-10-11%	-59%	-8%

Forrás: EVFM

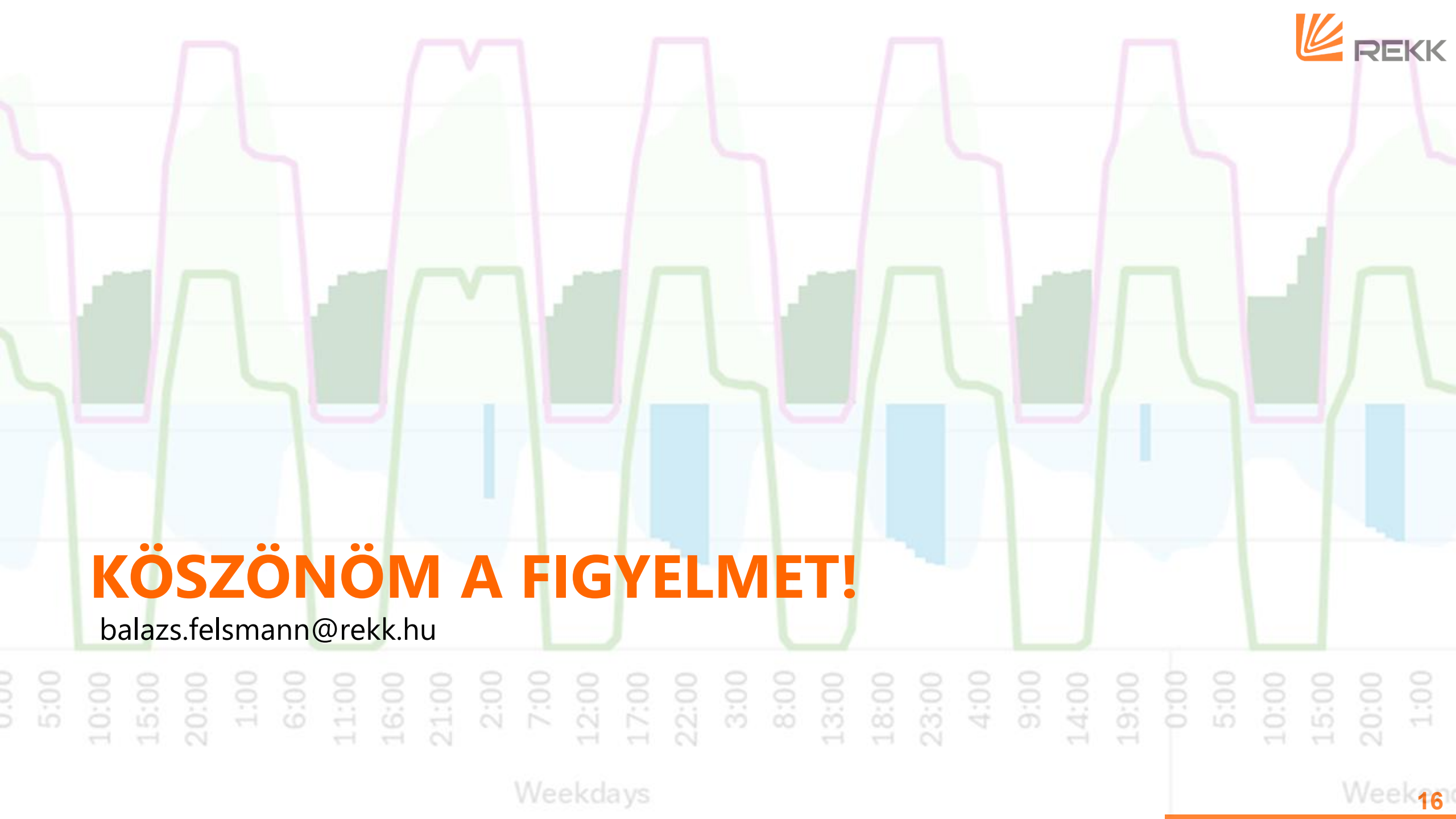
Modelleredmények egy nyári héten 2026-ban (július 20-26)



Parameter	Value
Average weekday driving distance (km/vehicle/day)	53
Annual mobility energy demand per vehicle (kWh/vehicle/year)	2700
Average-price, inflexible charging (€/100 km)	3.97
Dynamic-price, flexible charging (€/100 km)	2.63
Cost reduction vs. average-price charging (%)	33.9%
Peak system load change (MW)	15.63
Average system load change during weekday evening hours (MW)	-50.1

További kutatási és fejlesztési irányok

- Az EVFM egy **rugalmas modellezési keret**, amely számos lehetőséget ad a későbbi vizsgálatokra és annak továbbfejlesztésére.
 - Kiemelten fontosak az **érzékenységvizsgálatok** a kulcsparaméterekre (futásteljesítmény, fogyasztás, árpályák)
- Az EVFM **alkalmazható bármely EU-27 országra, 2050-ig** az összegyűjtött előrejelzések és adatbázisok alapján
 - Az **országspecifikus előrejelzések** (pl. NEKT) könnyen beépíthetők
 - Részletes **elosztóhálózati adatok integrálása** esetén régiós vagy akár **településszintű** elemzések
- **Felhasználói viselkedés pontosítása** több vezetési és rendelkezésre állási profillal
- **Elemzés elosztóhálózati szinten és szabályozói intézkedések** mentén
 - rendelkezésre álló elosztóhálózati kapacitás térbeli eloszlása
 - közlekedési módokat befolyásoló szabályozói intézkedések hatása a jellemző töltési mintázatra
- A **napelemmel és elektromos autóval rendelkező háztartások** optimális töltési profiljának vizsgálata
- A **flexibilis töltés és a V2G árhatásainak vizsgálata** a REKK nagykereskedelmi árampiaci modelljével (EPMM) összekapcsolva



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

balazs.felsmann@rekk.hu

Weekdays

Weekends