

**TÖLTÉSI FLEXIBILITÁS ÉS V2G –
LEHETŐSÉGEK A VILLAMOSENERGIA-
RENDSZER TERHELÉSÉNEK
CSÖKKENTÉSÉRE**

Horváth Gábor
Kutató főmunkatárs, REKK

*„Piac, biztonság, e-mobilitás”
JÁK konferencia
2026.03.10.*

Bemutakozás



Mik az erősségeink?

- Modellezés- és adatalapú elemzések
- Független elemző műhely
- Magyar és nemzetközi kapcsolatháló
- Tudásmegosztás

A REKK egy független szakmai műhely, amely energia-, víz- közlekedés- és környezetgazdasági kérdésekkel foglalkozik. Kutatással, tanácsadással és tudásmegosztással formáljuk az ágazati szabályozást és a vállalati döntéshozatalt hazai és nemzetközi szinten egyaránt, elősegítve a hatékony piaci mechanizmusok szerepét a környezeti állapot javításában és a fenntartható fejlődésben. (rekk.hu)

Mivel foglalkozunk?

Több, mint 20 éve végzünk elemzéseket az alábbi területeken:

- **Villamosenergia piacok**
- Földgázpiacok
- Távhőszektor
- Vízgazdaság
- Megújuló energiák
- Dekarbonizáció
- Energiahatékonyság
- **Közlekedés**

Tartalom

- Az EV-k elterjedésére és villamosenergiafogyasztására vonatkozó várakozások
- Az EV-k, mint flexibilis kereslet: szükséges feltételek és jelenlegi tapasztalatok
- Keresleti rugalmasság modellezése: az Electric Vehicle Flexibility Model (EVFM) bemutatása
- Eredmények négy lehetséges forgatókönyv alapján (Magyarország 2035): költségmegtakarítás és rendszerterhelésre gyakorolt hatás
 - Munkahelyi flexibilis töltés
 - Otthoni flexibilis töltés
 - Munkahelyi és otthoni flexibilis töltés
 - Munkahelyi és otthoni flexibilis töltés V2G mellett
- Továbbfejlesztési lehetőségek

EV-flotta villamosenergia-piaci kontextusban

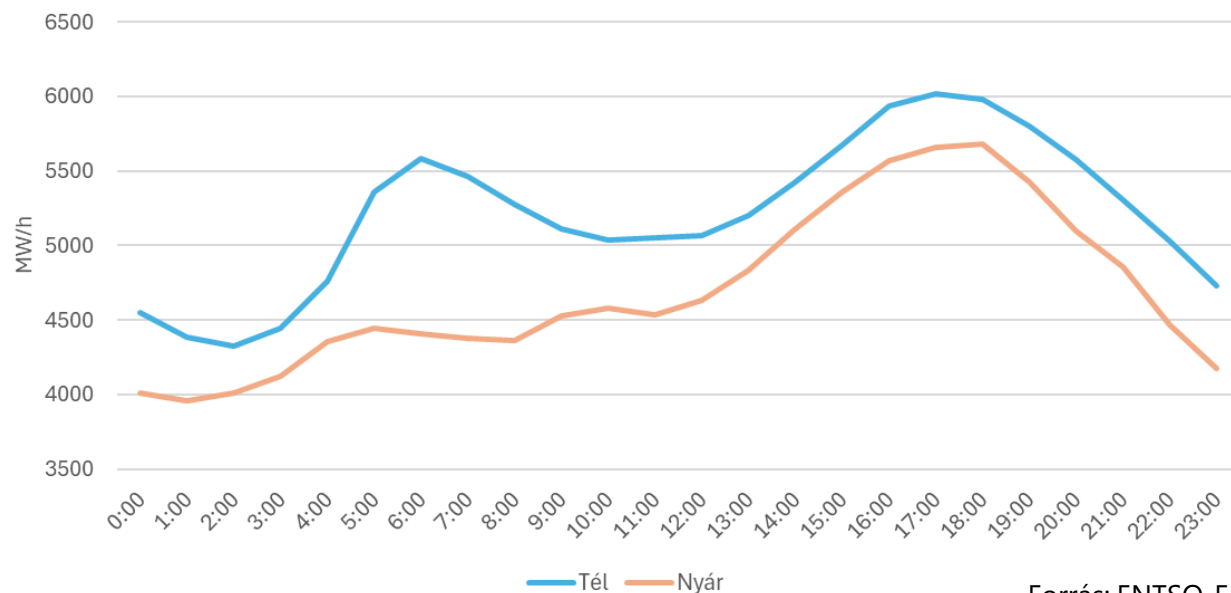
„Százezer villanyautó országa leszünk?”

- 2026 végére a hazai tisztán elektromos járműflotta elérheti a százezret
- Ezek alapján körülbelül **5000 MWh-nyi „akkumulátor” közlekedik az utakon**, ehhez képest **1800 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

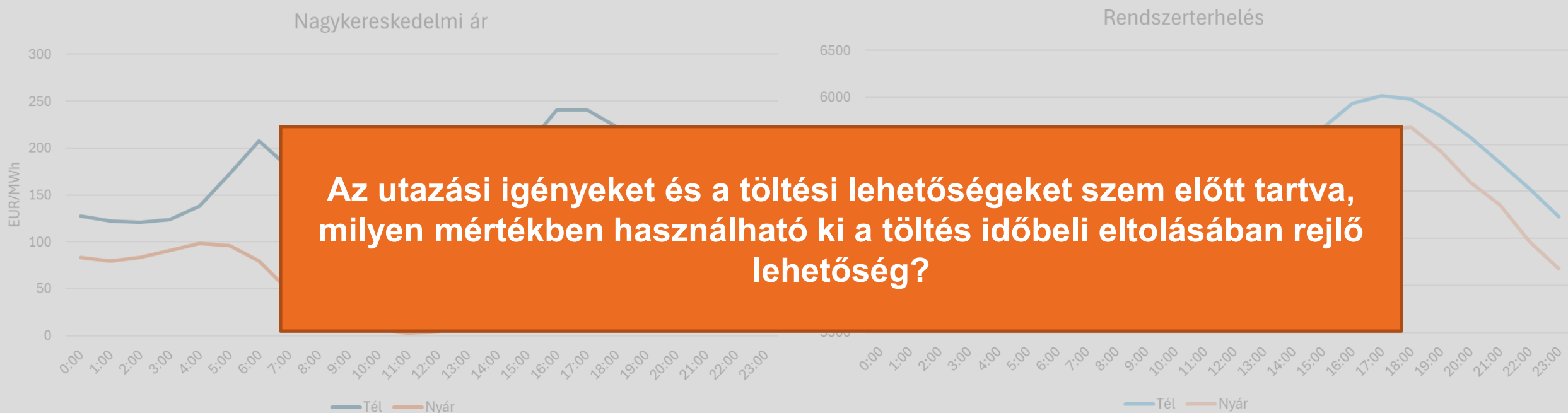


Forrás: ENTSO-E

EV-flotta villamosenergia-piaci kontextusban

„Százezer villanyautó országa leszünk?”

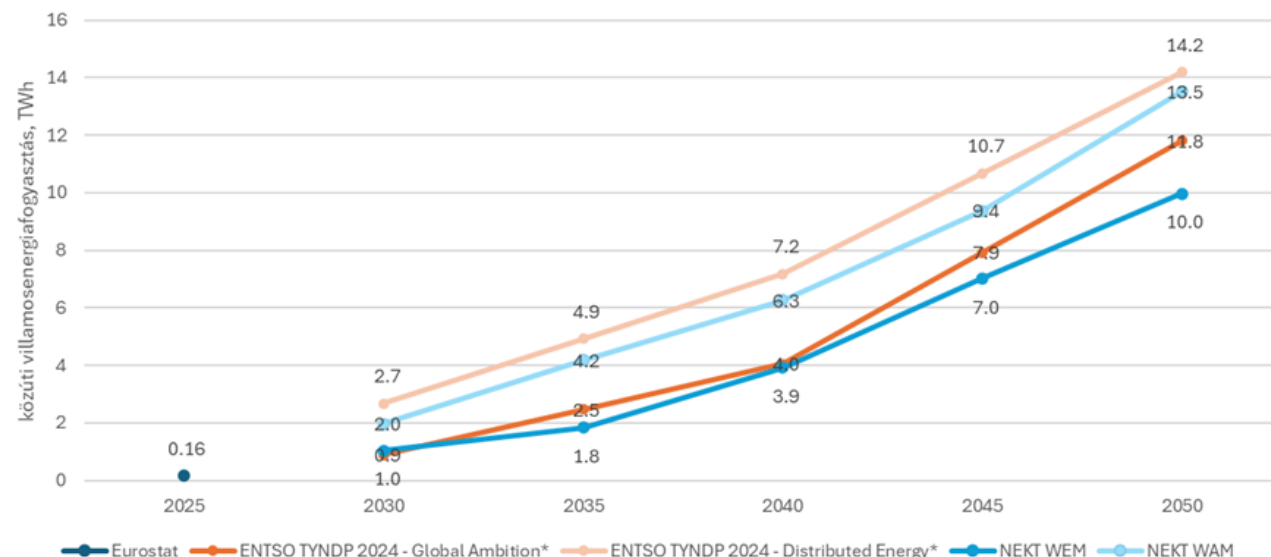
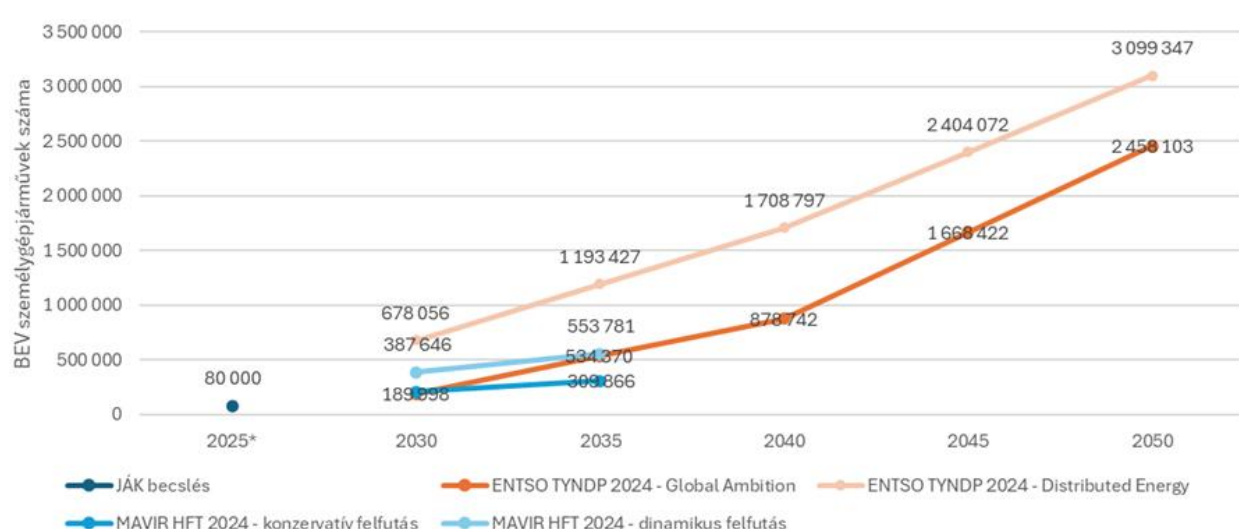
- 2026 végére a hazai tisztán elektromos járműflotta elérheti a százezret
- Ezek alapján körülbelül **5000 MWh-nyi „akkumulátor” közlekedik az utakon**, ehhez képest **1800 MWh tárolókapacitás** rendelkezik villamosenergiapiaci engedéllyel (ezeknek csak kisebb része üzemel jelenleg)
 - Az Otthoni Energiatároló 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!



Magyarországi 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



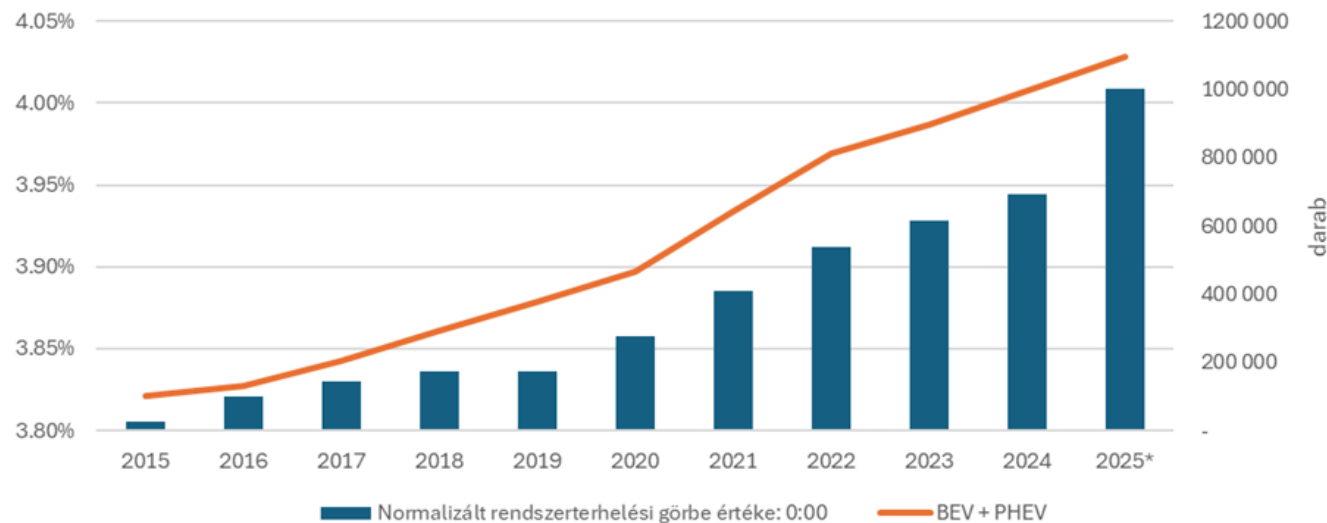
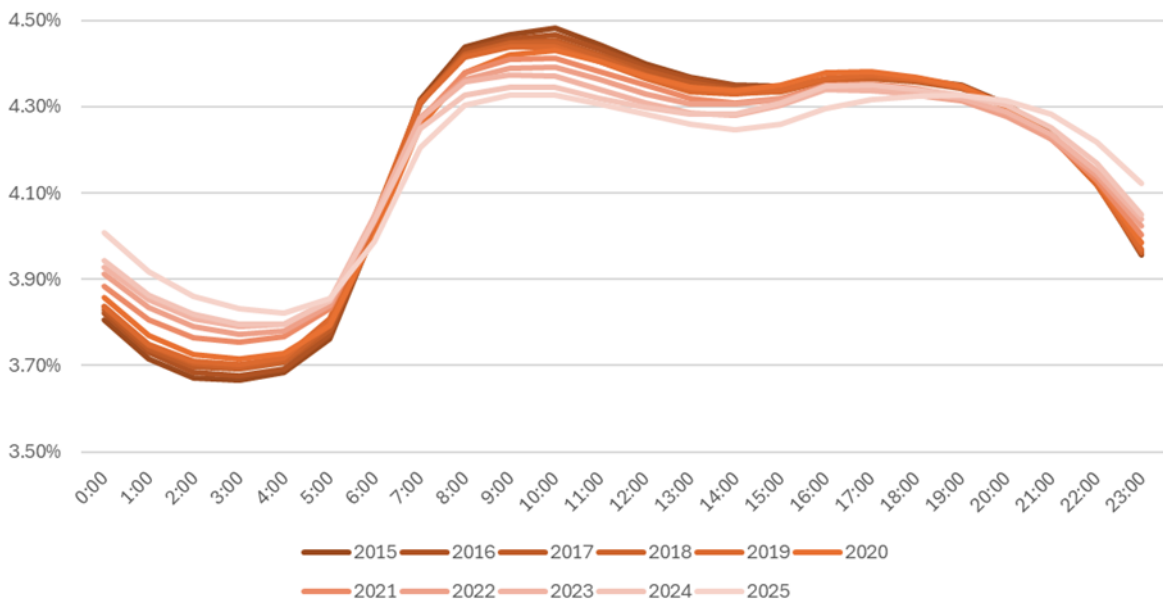
Forrás: Eurostat, ENTSO TYNDP 2024, Nemzeti Energia- és Klímaterv

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

A napi rendszerterhelésre gyakorolt hatás: Norvégia

- Az EV-k hatása már most is megfigyelhető: az átlagos normalizált rendszerterhelési görbe fokozatosan „ellaposodik”, az éjjel elfogyasztott villamosenergia aránya évről-évre magasabb lesz, míg a napközbeni csúcsok relatív mértéke csökken.
 - Ennek egy lehetséges oka, hogy az egyre nagyobb számú elektromos autó otthoni töltése éjszaka történik.
- Kapcsolat az éjszakai villamosenergia-fogyasztás napon belüli arányának növekedése és az elektromos gépjárművek terjedése között?
 - Hasonló eredmények Svédország és Finnország esetében is, de a hőszivattyúk is szerepet játszhatnak

A normalizált rendszerterhelési görbe alakulása és az elektromos autók száma Norvégiában (2015-2025)

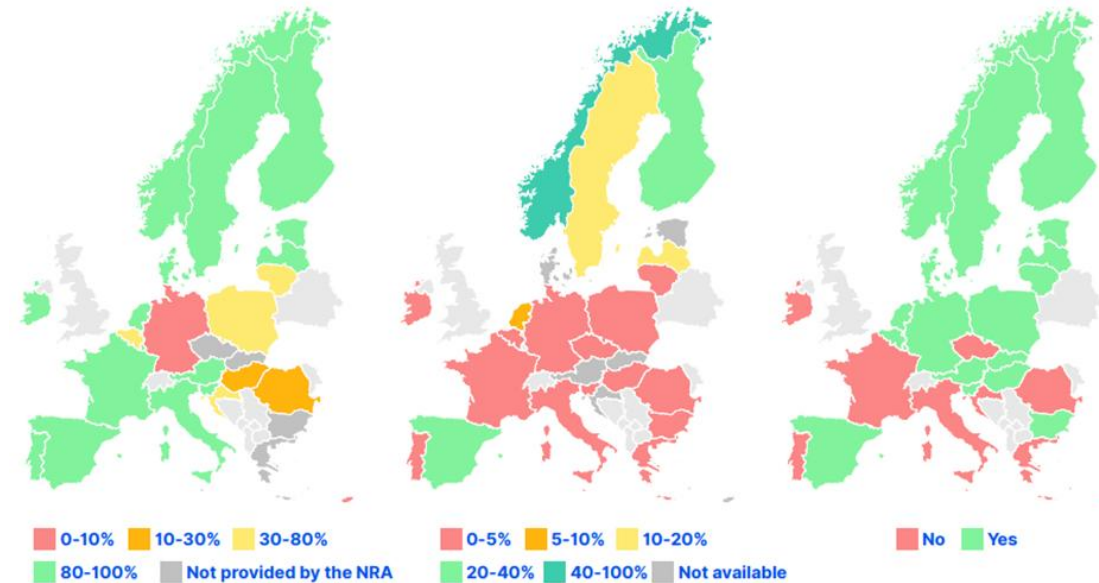


Forrás: Eurostat, ENTSO-E, Eurostat

Az EV-k, mint flexibilis kereslet és annak szükséges feltételei

- A magas parkolási arány (az idő 95%-a) miatt az elektromos autók töltése **nemcsak energiaigény, hanem rendszerflexibilitási lehetőség is.**
- A felhasználók szokásait (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 elterjedtek, 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

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

Az 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 árpály, 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 magasa 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 bevételük 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

- 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%), az eredeti 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 melletti "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%

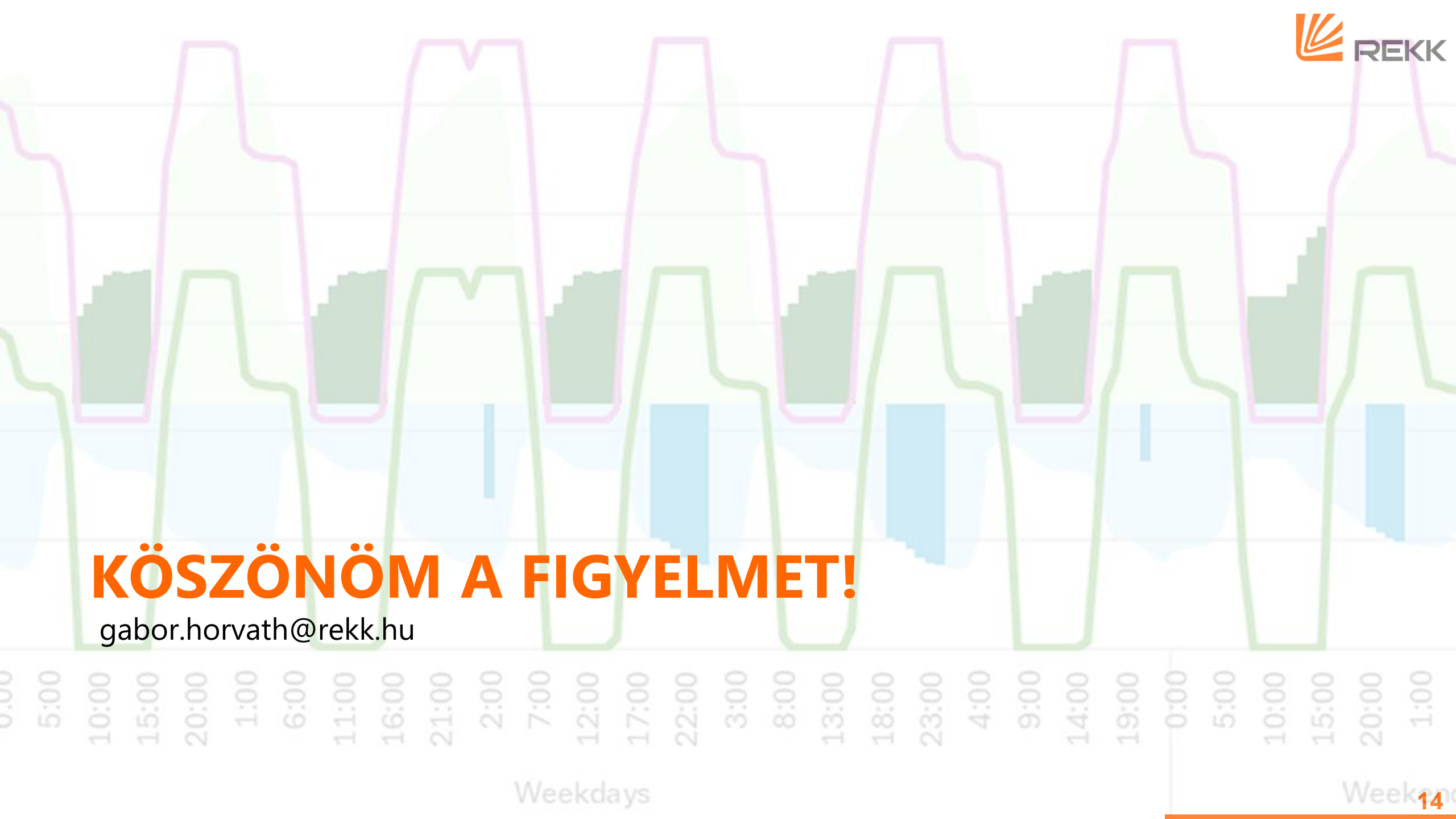
Forrás: EVFM

Rendszerterhelés: kulcskérdés a volumen

- A téli hét esetében a legmagasabb árú és legmagasabb rendszerterhelésű órák egy időszakba esnek (17:00-20:00), nyáron viszont a kettő elszakad (magas árak: 18:00-21:00; magas rendszerterhelés: 12:00-16:00)
- **A munkahelyi töltés flexibilitásának minimális a hatása a kritikus időszakokra**, mivel kismennyiségű rendszerterhelés helyeznek át a felhasználók
- **Flexibilis otthontöltés mellett az optimalizáló felhasználók száma válik kulcskérdéssé:**
 - **100 ezer optimalizáló EV felhasználó** a kritikus kora esti időszakban átlagosan **0,9-1,4%-kal csökkenti a teljes rendszerterhelést**
 - **150 ezer** (munkahelyen is optimalizáló) **felhasználónál** már **1,3-2,0%-os** a csökkenés
- **A nyári héten a V2G mellett még látványosabb a csökkenés** a magas árú órákban átlagosan **-4,1- -3,7%**, maximum (-7,4%)
- A nyári magas rendszerterhelésű órákban a felhasználók más rugalmas keresletoldali fogyasztókhoz hasonlóan a magas PV-termelésű, alacsony áras időszakokra helyezik a fogyasztásukat, így a rendszerterhelést tovább növelik
- Otthontöltés mellett **hova helyeződik át az optimalizált fogyasztás?** A maximális értéket a töltési képességek korlátozzák:
 - **Nyár: hétköznap/hétvége kora délután** (legmagasabb érték: +150-430 MW/h)
 - **Tél: hétköznap éjjel** (legmagasabb érték: +450-750 MW/h)

További kutatási és fejlesztési irányok

- A létrehozott 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
- **Felhasználói viselkedés pontosítása** több vezetési és rendelkezésre állási profillal
- **Elemzés elosztóhálózati szinten és szabályozói intézkedések** mentén
- A **napelemmel és elektromos autóval rendelkező háztartások** optimális töltési profiljának vizsgálata
- **A flexibilis töltés és a V2G árhatásainak vizsgálata** a REKK nagykereskedelmi árampiaci modelljével (EPM) összekapcsolva



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

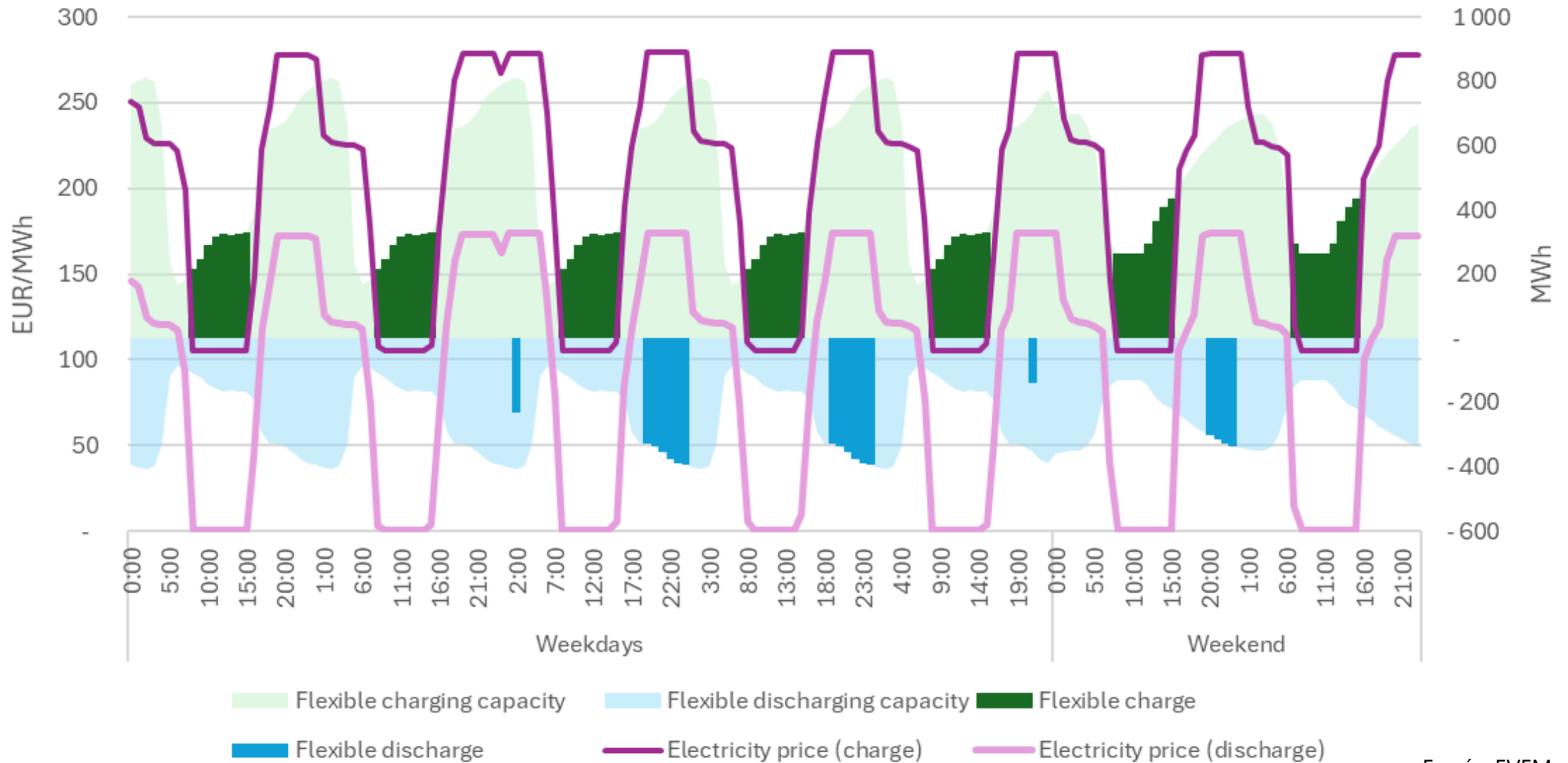
gabor.horvath@rekk.hu

Weekdays

Weekend

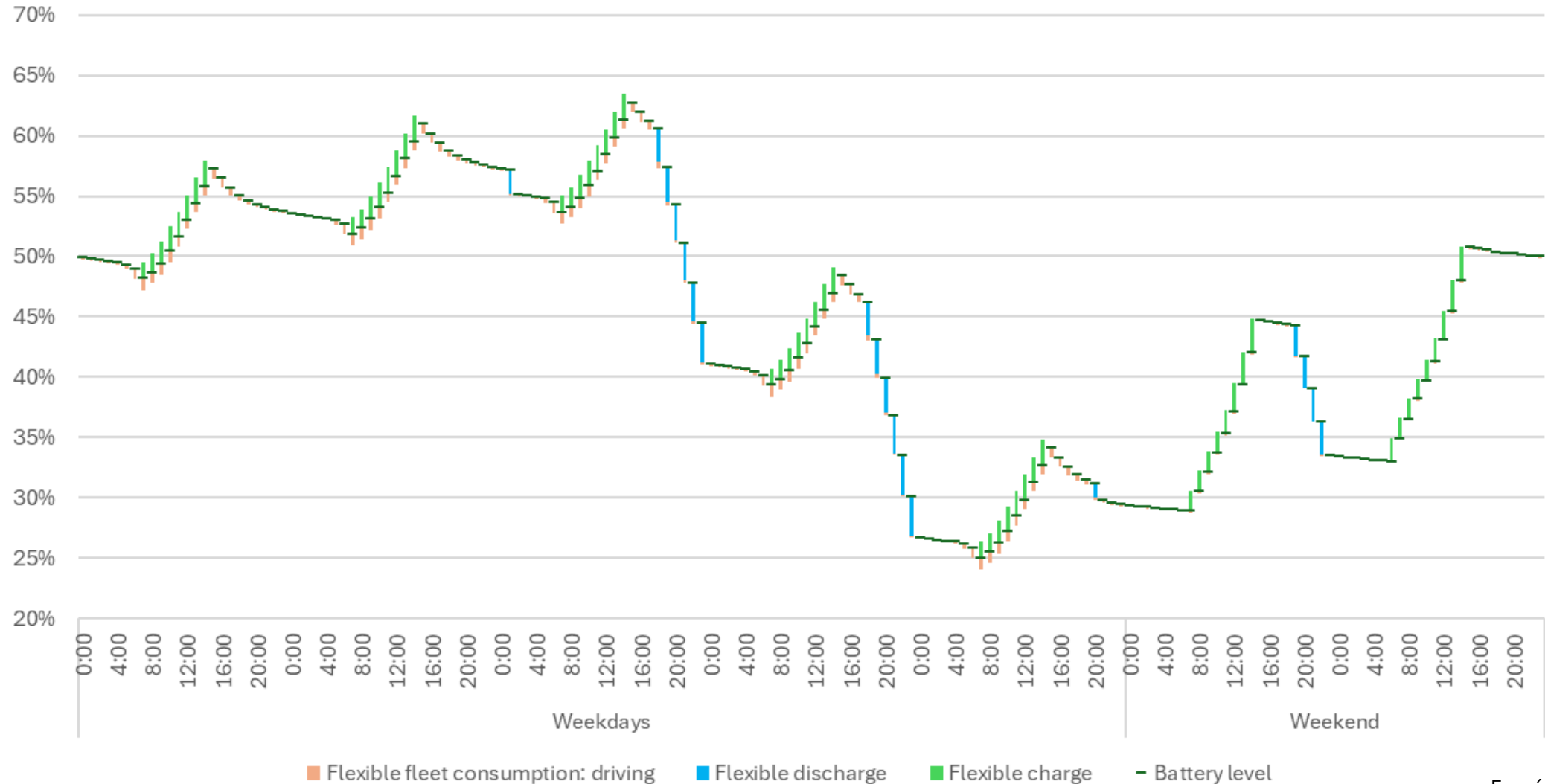
BACK-UP

Flexibilis otthoni és munkahelyi töltés V2G mellett: optimális töltés és töltési képesség - Magyarország 2035 nyár

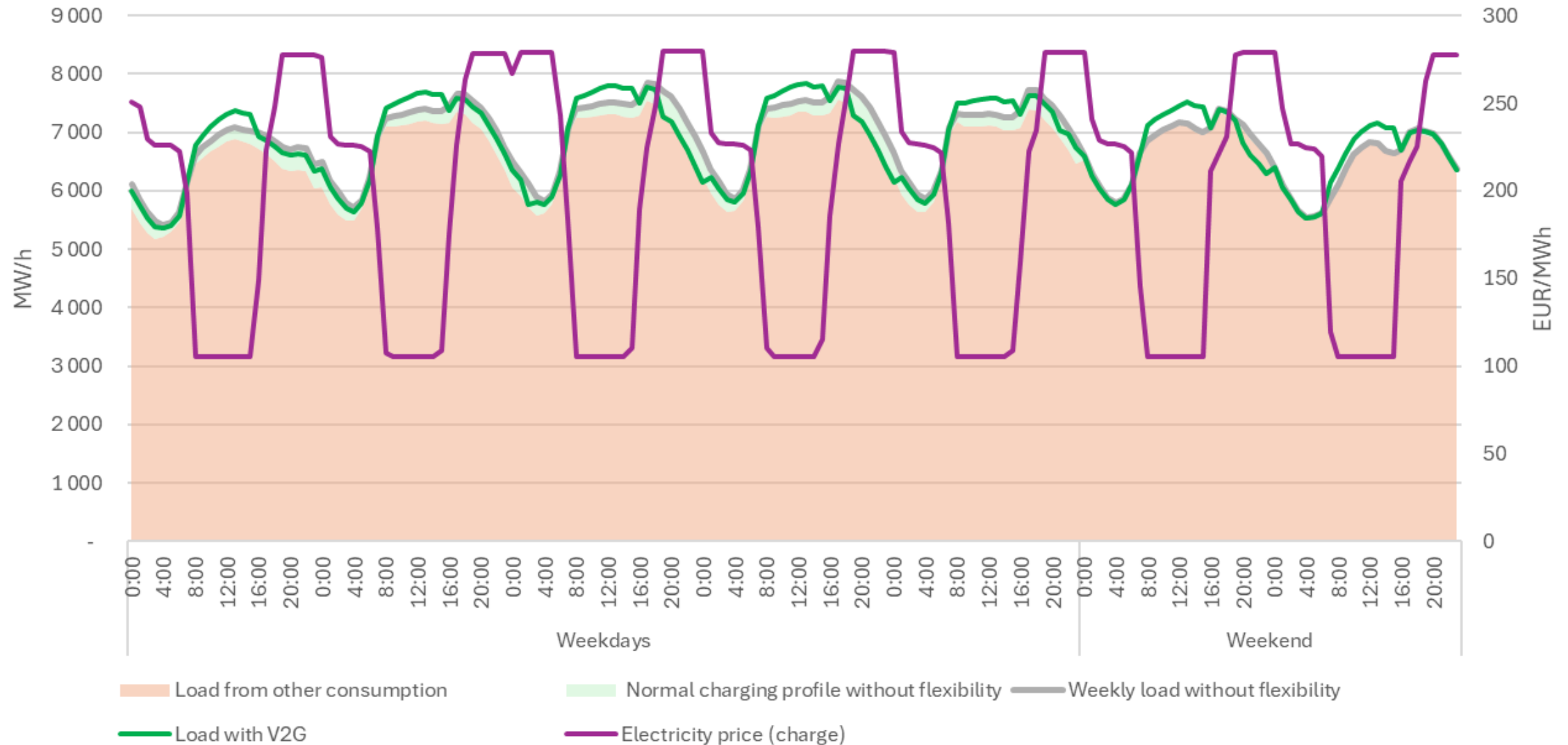


Forrás: EVFM

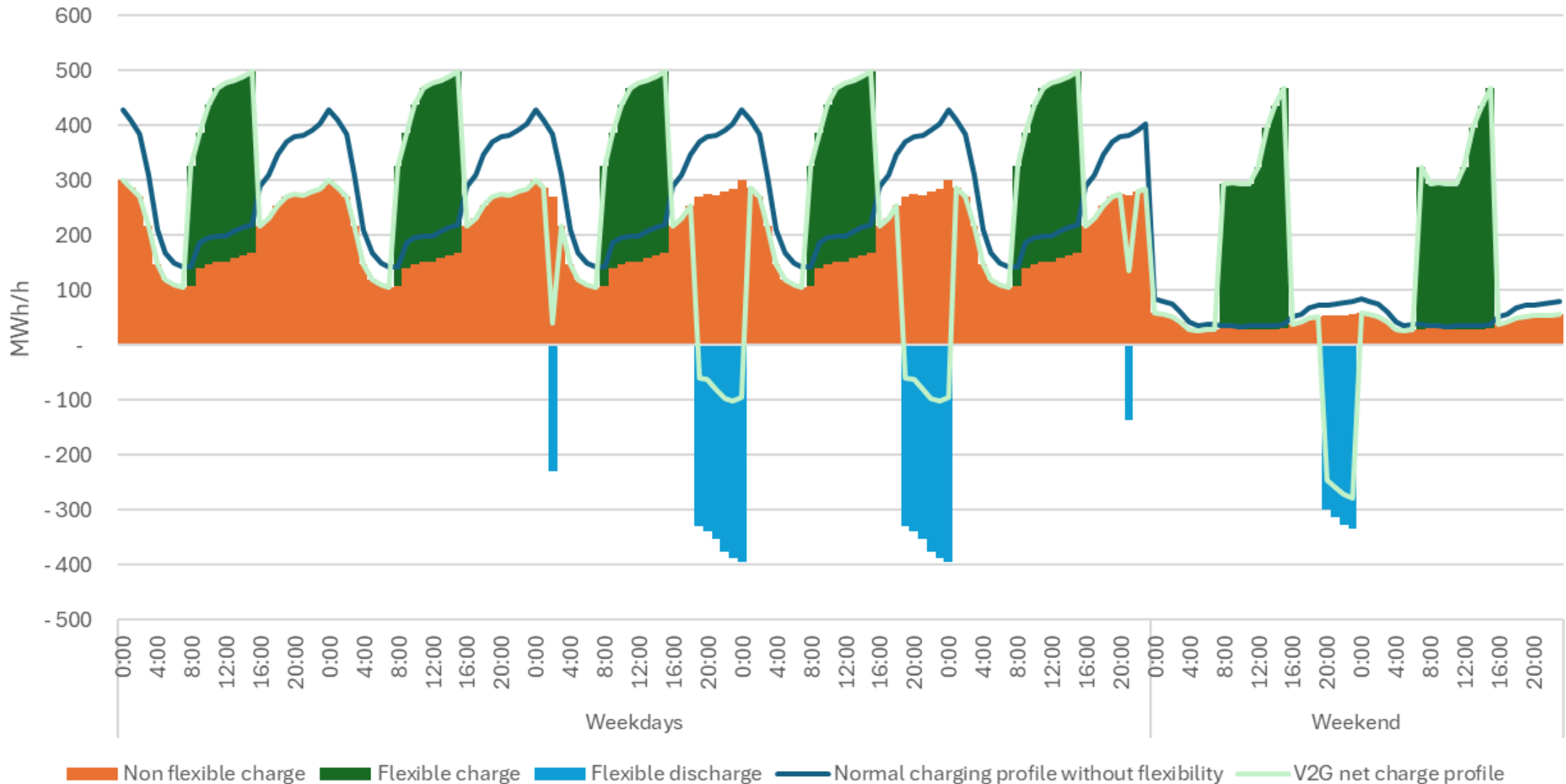
Flexibilis otthoni és munkahelyi töltés V2G mellett: töltési, visszatöltési és energiafelhasználási heti profilja az akkumulátor töltöttsége szempontjából - Magyarország 2035 nyár



Flexibilis otthoni és munkahelyi töltés V2G mellett: a töltés hatása a teljes rendszerterhelésre - Magyarország 2035 nyár

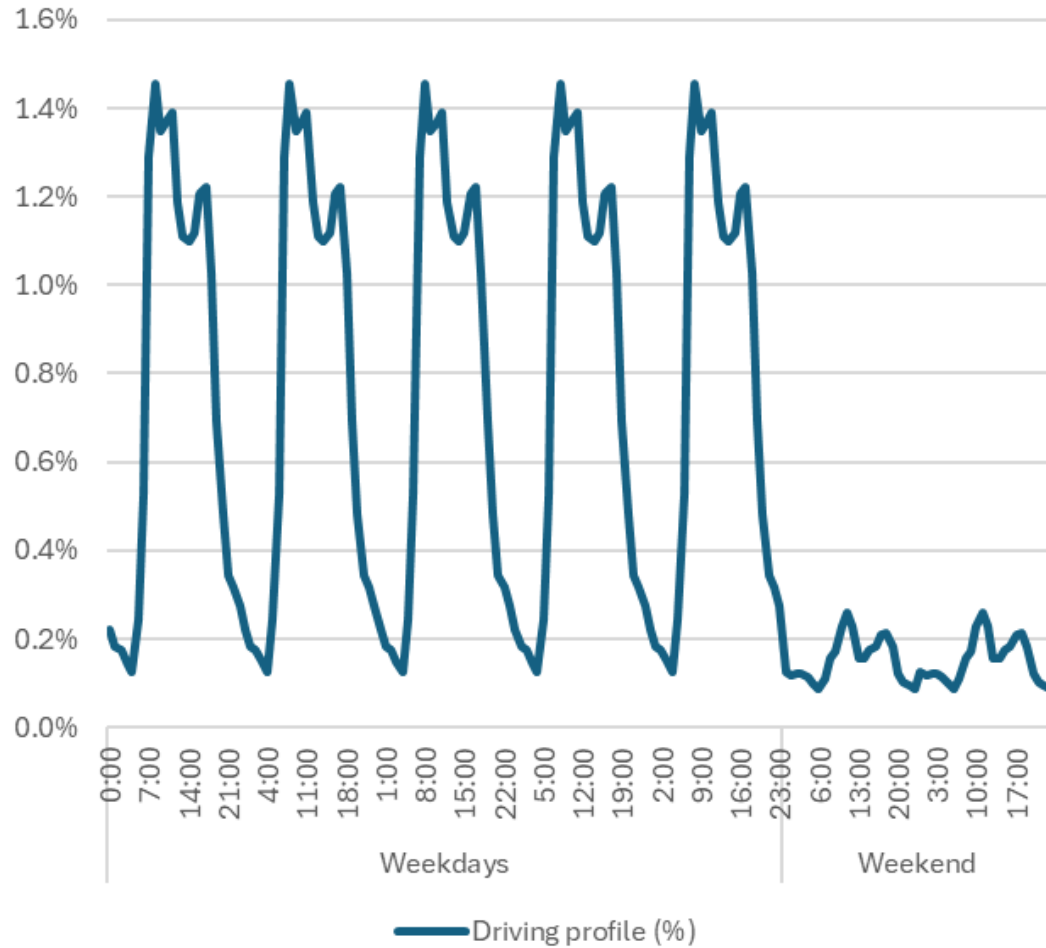


Flexibilis otthoni és munkahelyi töltés V2G mellett: a flotta töltési profilja flexibilitás mellett és anélkül - Magyarország 2035 nyár



Vezetési és elérhetőségi profilok

A heti vezetési igény alakulása a modellben



Forrás: saját számítás, [ENTSO-E TYNDP](#)

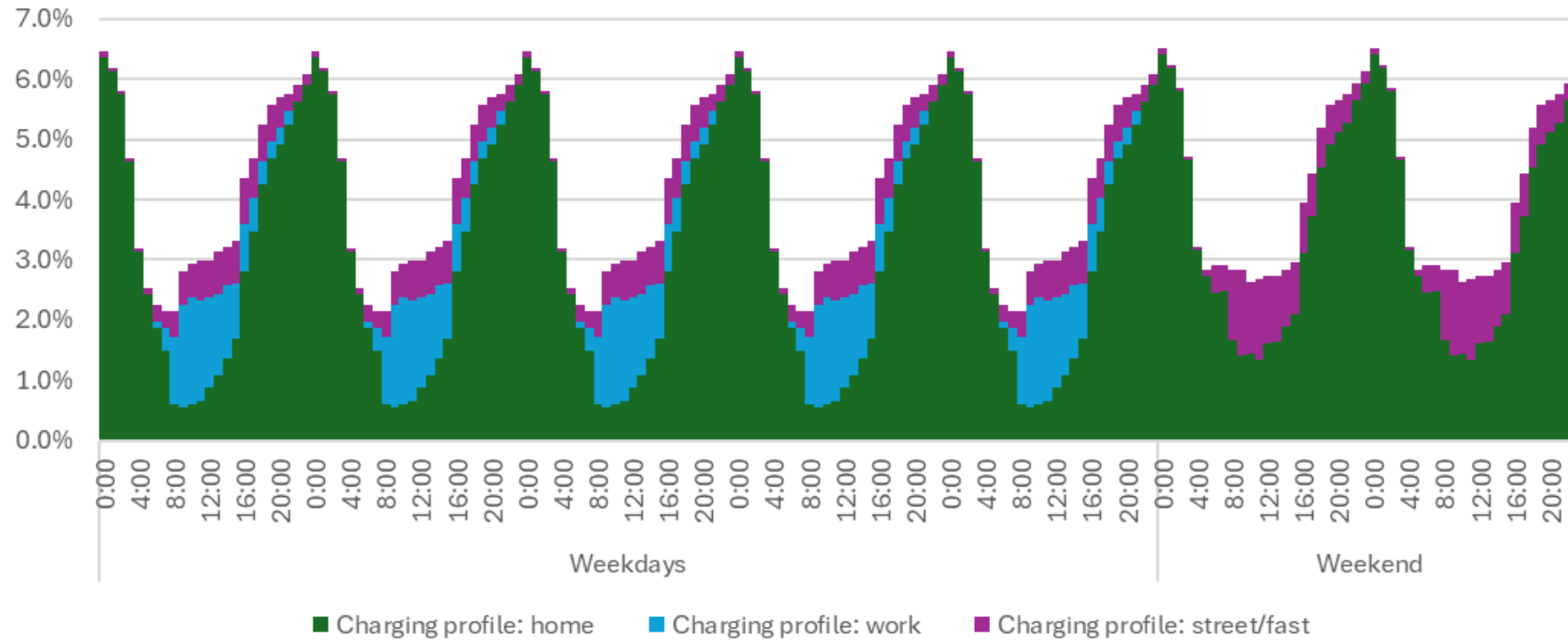
Heti rendelkezésre állási profilok



Forrás: saját számítás,
[ENTSO-E TYNDP](#)

Felhasznált heti töltési profil a szabályozatlan töltés esetében

Heti töltési profil a DNV GL tanulmánya alapján



Forrás: saját számítás, [Accilium](#) alapján