A villamos autók elterjedésével az elosztóhálózaton várható hatások

63. Vándorgyűlés, konferencia és kiállítás
Innováció és trendek az elektrotechnikában
Szeged, 2016. szeptember 14-16.

Dr. Dán András, professor emeritus
Farkas Csaba, egyetemi tanársegéd
Orlay Imre, műszaki szakértő, ÉMÁSZ Hálózati Kft.

MŰEGYETEM 1782

BME VILLAMOSMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

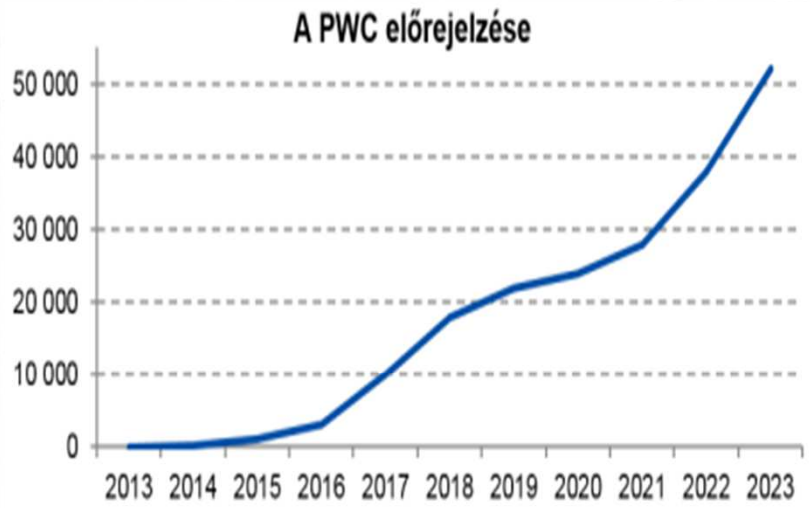
Villamos Energetika Tanszék
Villamos Művek és Környezet Csoport

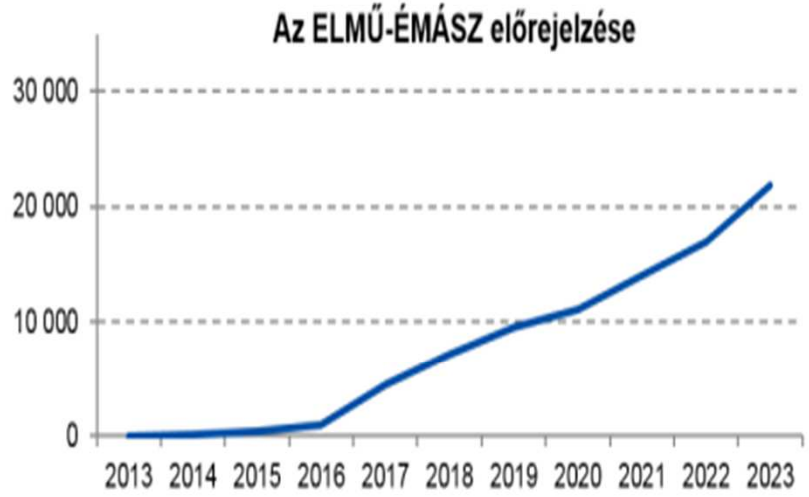
Enumeráció

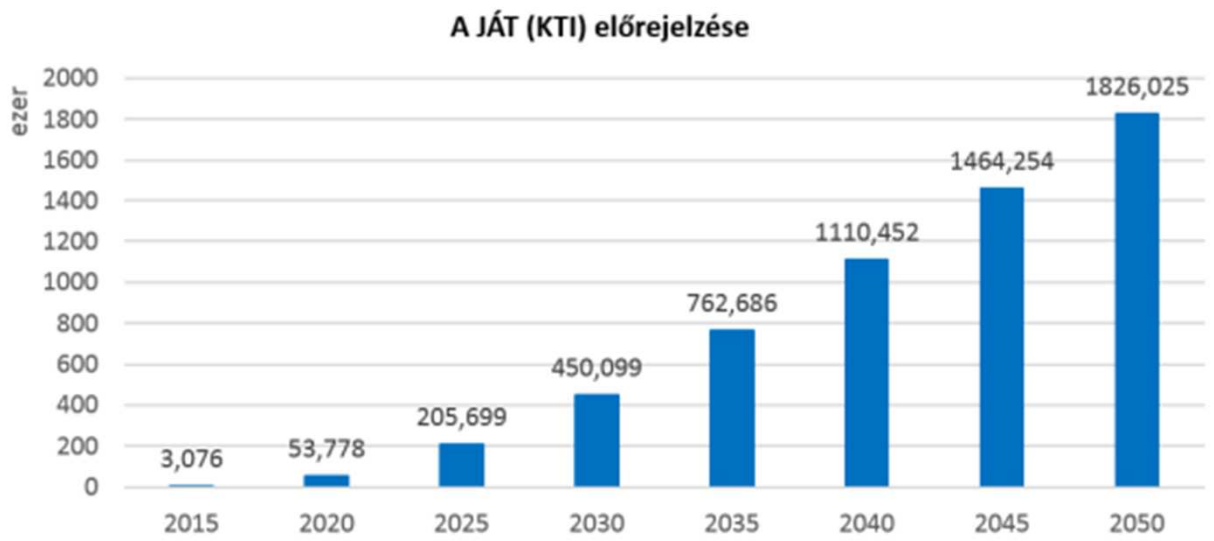
- Kitekintés a villamos autók töltésére
- Töltők által okozott visszahatás kérdése
- Töltés vezérelhetőségének lehetősége/szükségessége
- Megújuló energiatermelés és villamos autók
- Gyorstöltő-állomások által a középfeszültségű hálózatra gyakorolt lehetséges hatások
- Vezeték nélküli töltés lehetősége

A villamos autók töltéséről általában

Előrejelzések az e-mobility terjedéséről







Töltőszabványok

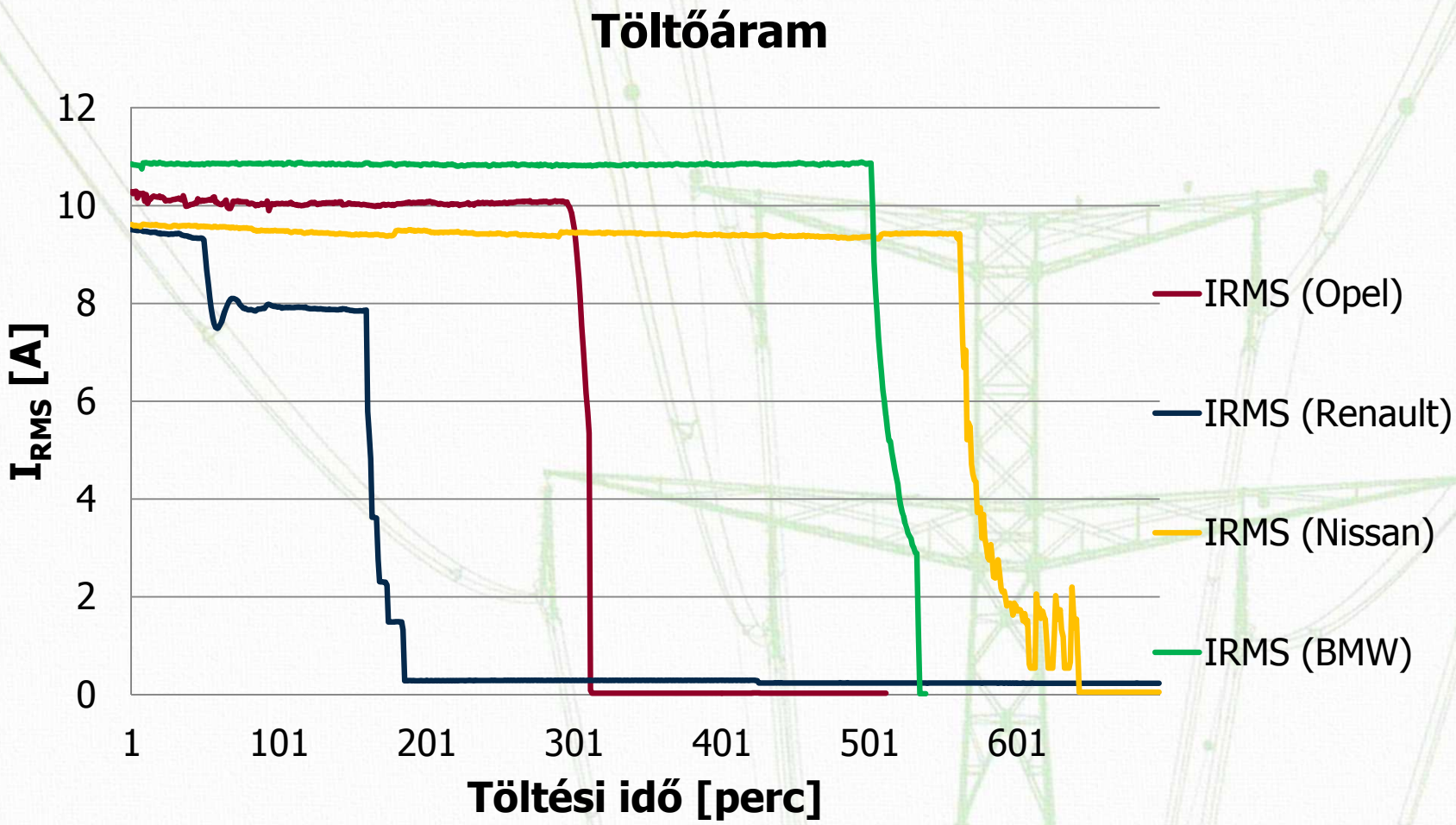
- A villamos autók töltőire az IEC 62196 szabvány tartalmaz előírásokat, azonban többféle töltőtípust is támogat (de csak konduktív töltőket), amelyek névleges feszültsége nem nagyobb, mint 690V és 250A AC esetben, illetve 600V és 400A DC esetben:
  - Yazaki (ez a SAE J1772 szabvány alapján készül) Észak-Amerikában;
  - CHAdeMO Japánban (DC gyorstöltő);
  - Mennekes Európában (a VDE-AR-E-2623-2-2 alapján, melyet 2012. novemberében felváltott a VDE 0623-5-2 szabvány).
  - Léteznek további töltőtípusok is: Framtome (EDF), Scame (Olaszország), CEEplus (Svájc).
- Az amerikai és európai autógyártók nem támogatják a CHAdeMO szabványt, 2019-re az ilyen töltők telepítését az Európai Parlament leállítaná.

Töltési módok - összefoglalás

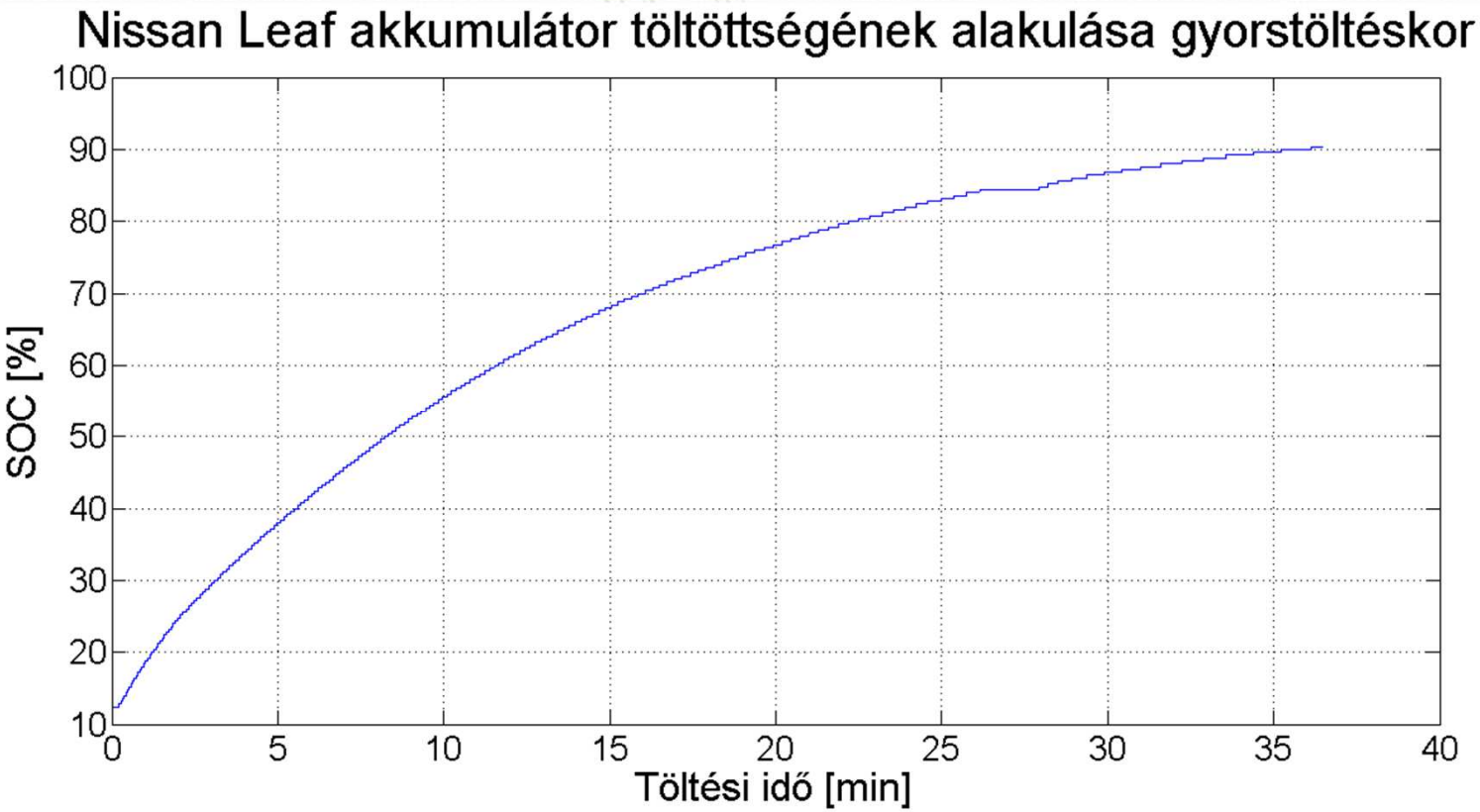
- Az IEC 62196 alapján, az IEC 61851-1 szabványra hivatkozva négyféle töltési módot különböztethetünk meg:
  - 1-es típus: 16A töltőáramot és 250V fázisfeszültséget meg nem haladó, elsősorban a háztartásban megtalálható töltő.
  - 2-es típus: 32A töltőáramot és 250V fázisfeszültséget meg nem haladó, háztartásban megtalálható töltő, amelybe védelem is be van építve.
  - 3-as típus: szabványos töltőfej, töltőáram-szabályozással és védelemmel. Lassú töltés esetén 32A-ig, gyorstöltés esetén 250A-ig tartoznak ebbe a kategóriába a töltők. Ezek a töltők képesek a töltőállomás és a jármű fedélzeti elektronikája között kommunikációt megvalósítani, így a smart grid koncepcióba ezek a töltőtípusok jól illeszkednek.
  - 4-es típus: ide a nagyáramú DC gyorstöltők tartoznak max. 400A-es töltőárammal.

Ezen töltési módok minden töltőtípus esetén azonosak, a töltők konkrét megvalósítási módja azonban eltérő.

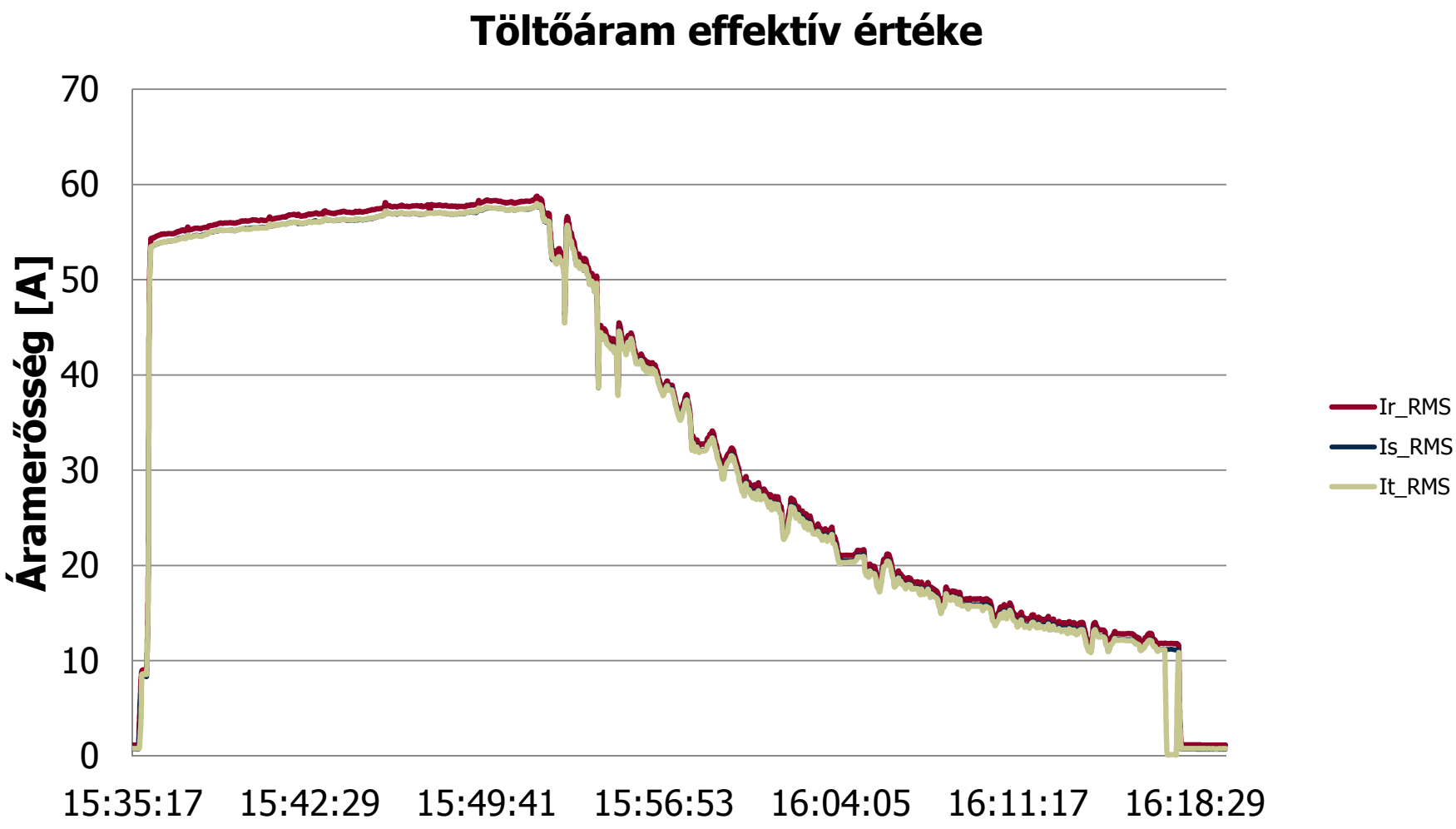
A töltés jellemző karakterisztikái – lassú töltés



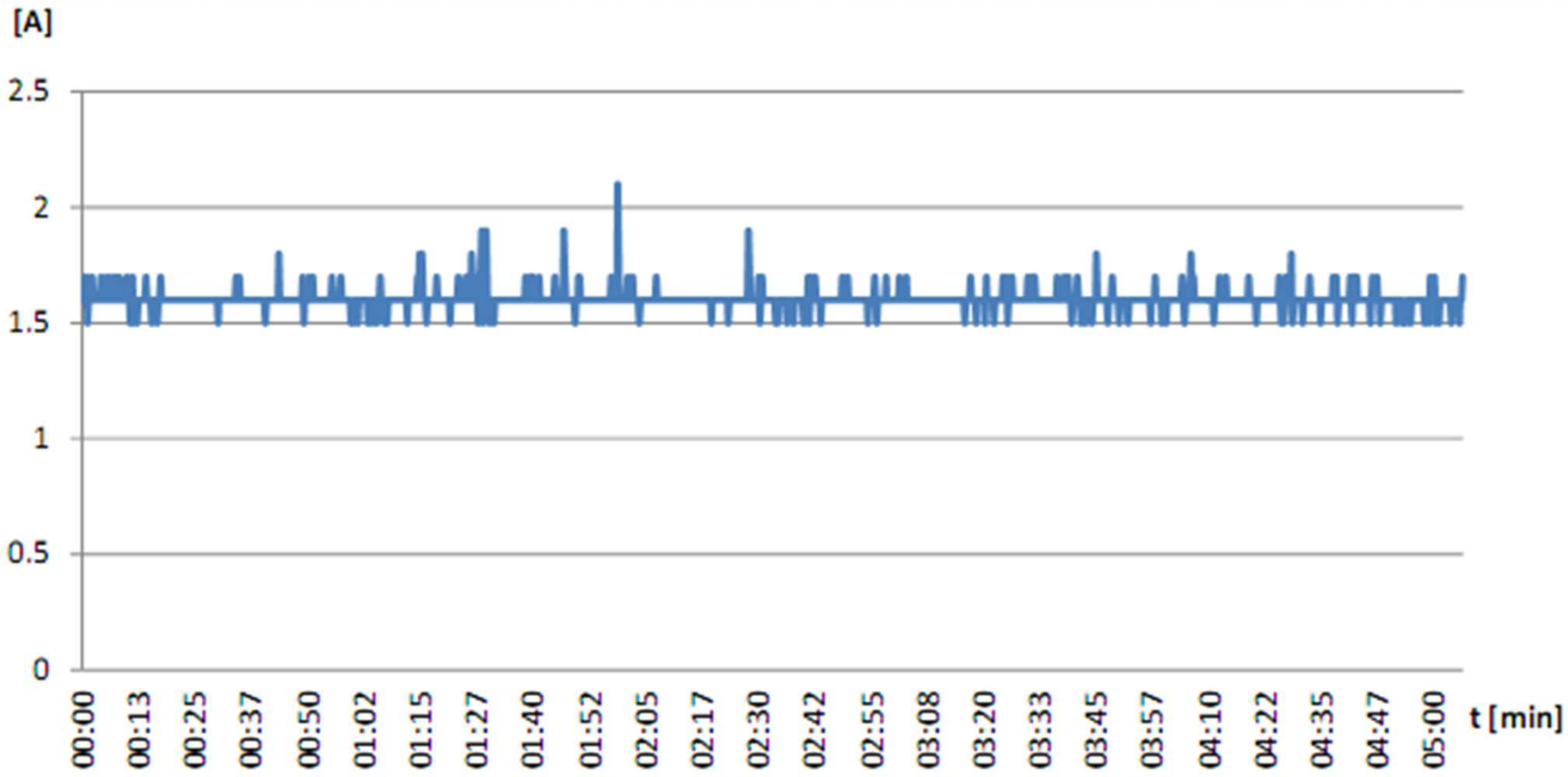
A töltés jellemző karakterisztikái - gyorstöltés



A töltés jellemző karakterisztikái – gyorstöltés áramok



Fantom terhelés

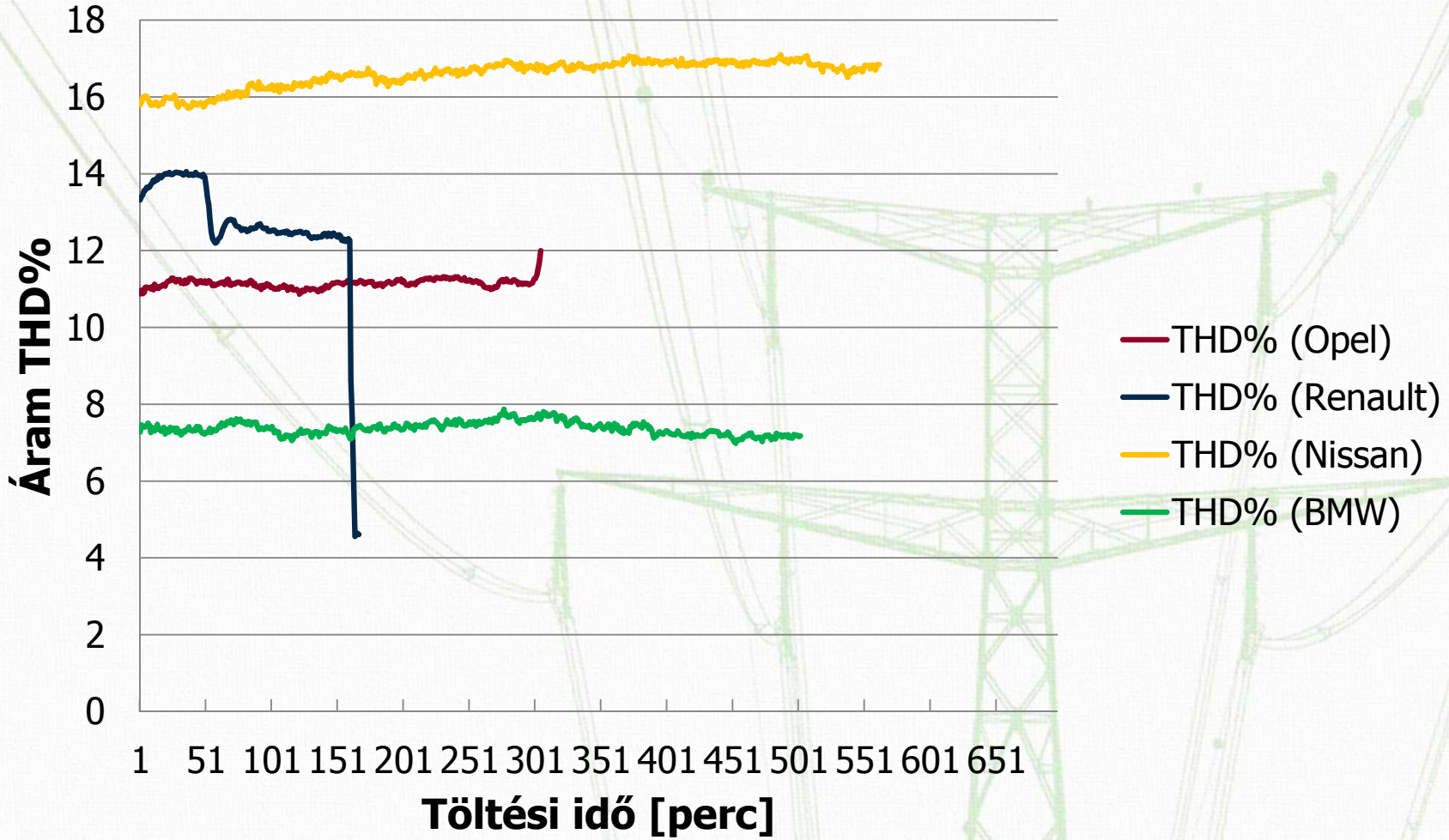


Villamos autók töltése által okozott hálózati visszahatás

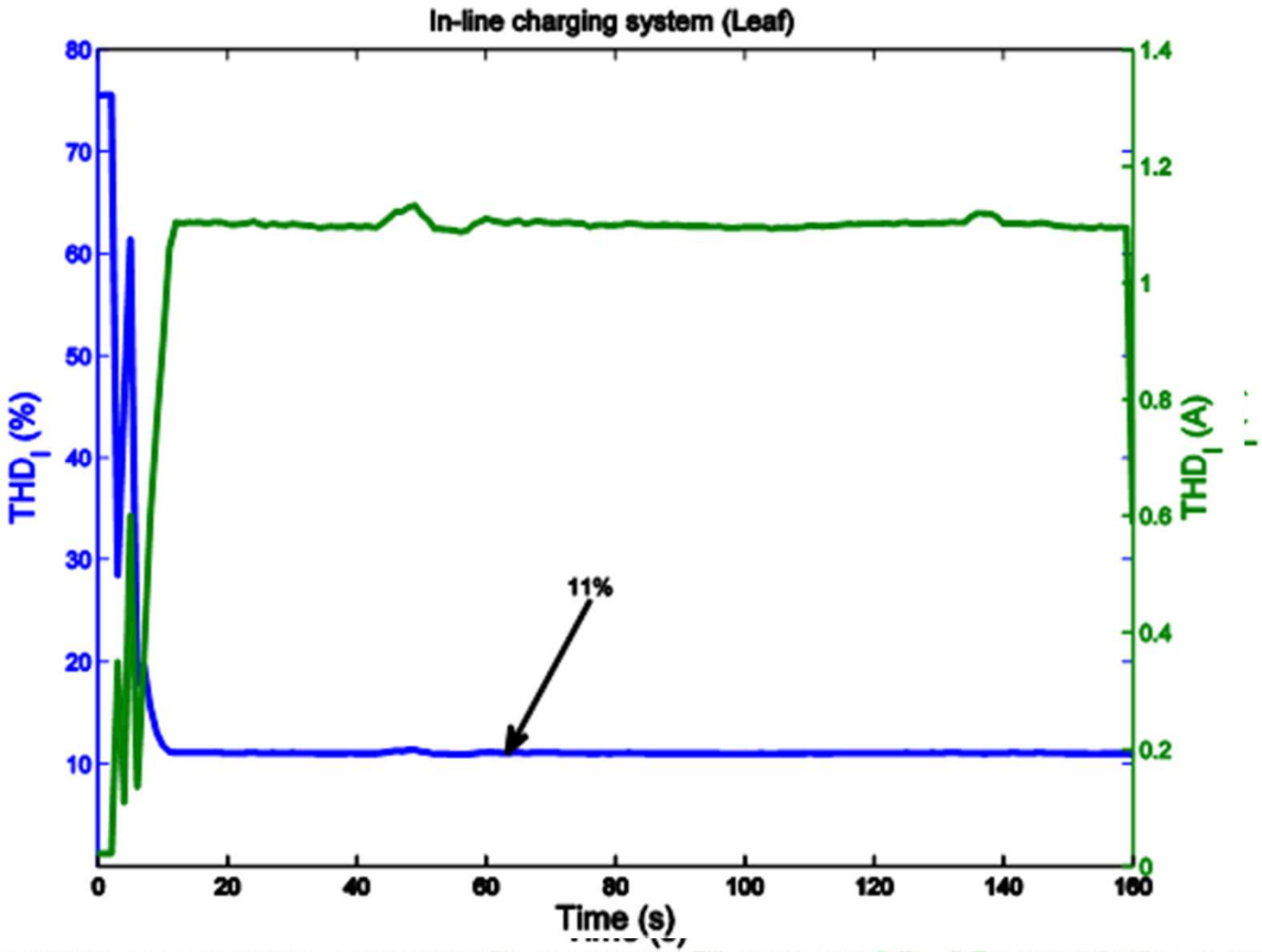
Töltés által okozott visszahatás

- Smart grid rendszerben a feszültségminőség kiemelt fontosságú az érzékeny berendezések miatt.
- Jelenleg nincs szabvány a villamos autók lassú, ill. gyors töltésére, valamint a hálózatra csatlakoztatásukra.
- Tanulmányok szerint a jelenlegi töltők esetén az okozott harmonikus torzulás még a terhelhetőségi határértékek túllépése előtt meghaladja a szabványban megengedett értéket, így ez a korlátozó tényező.
- Ugyanakkor az eltérő típusú töltők harmonikus kibocsátása is különbözik, így kioltás is bekövetkezhet.

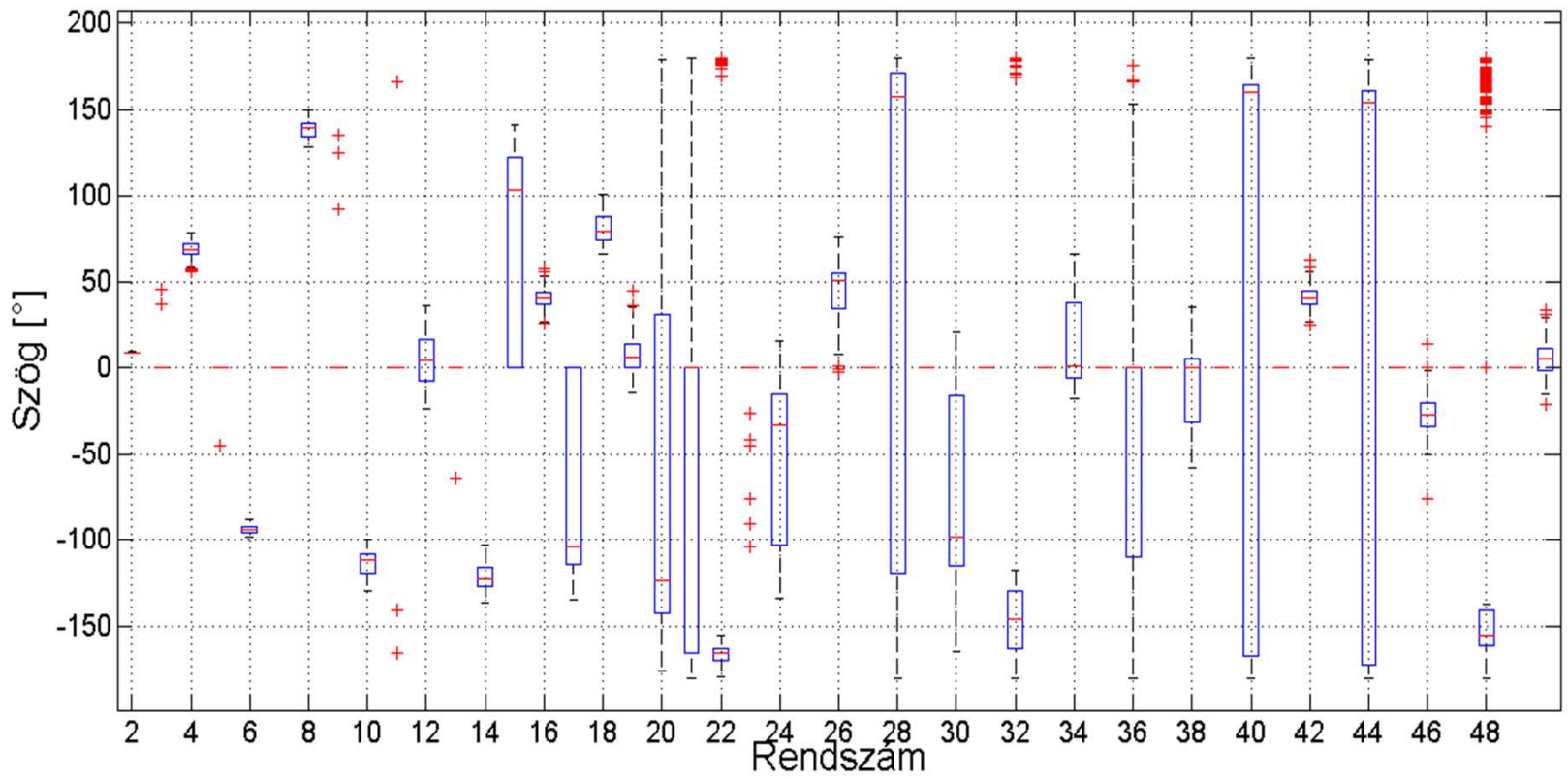
Töltés által okozott visszahatás – lassú töltés



Töltés által okozott visszahatás – lassú töltés

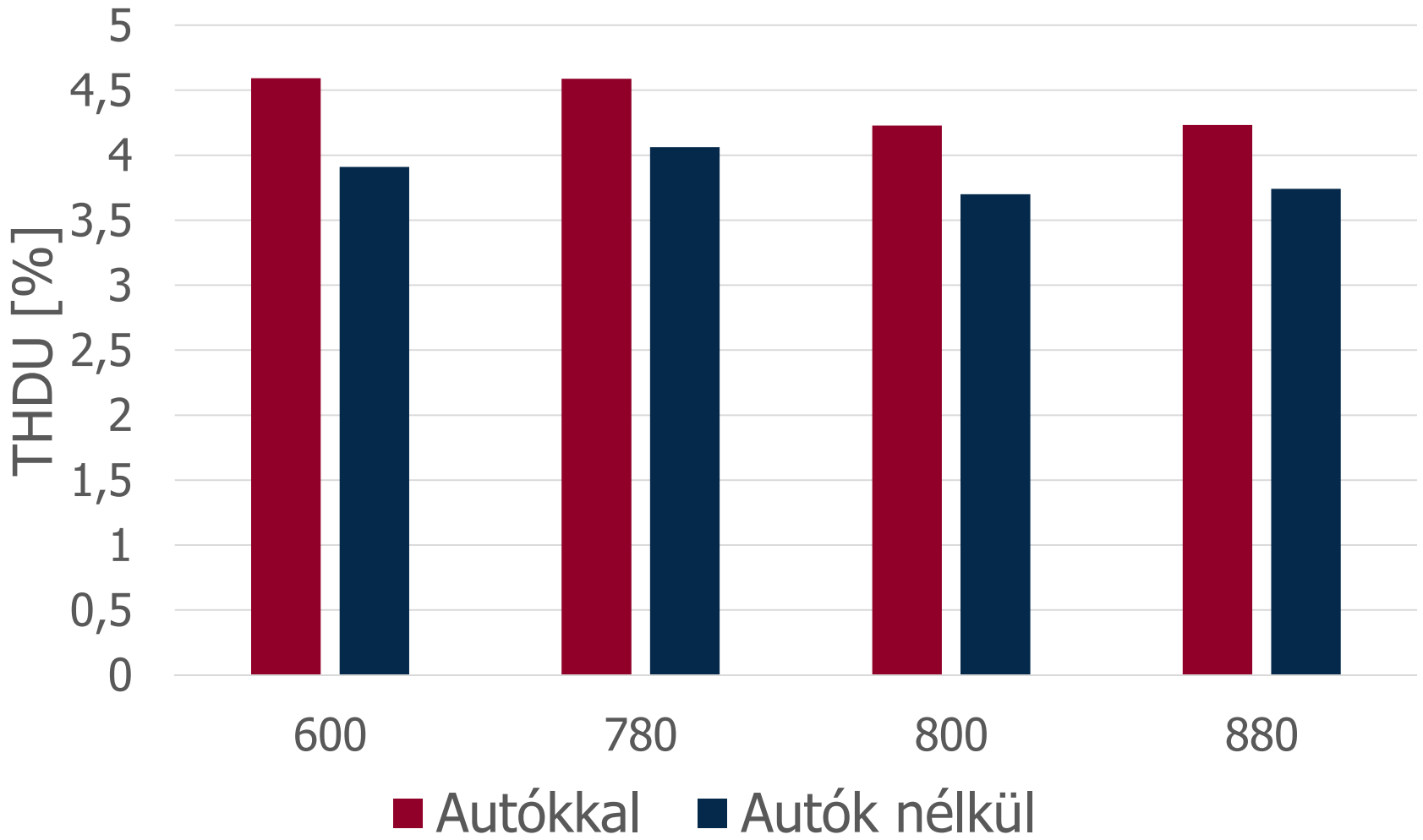


Töltés által okozott visszahatás - szögek

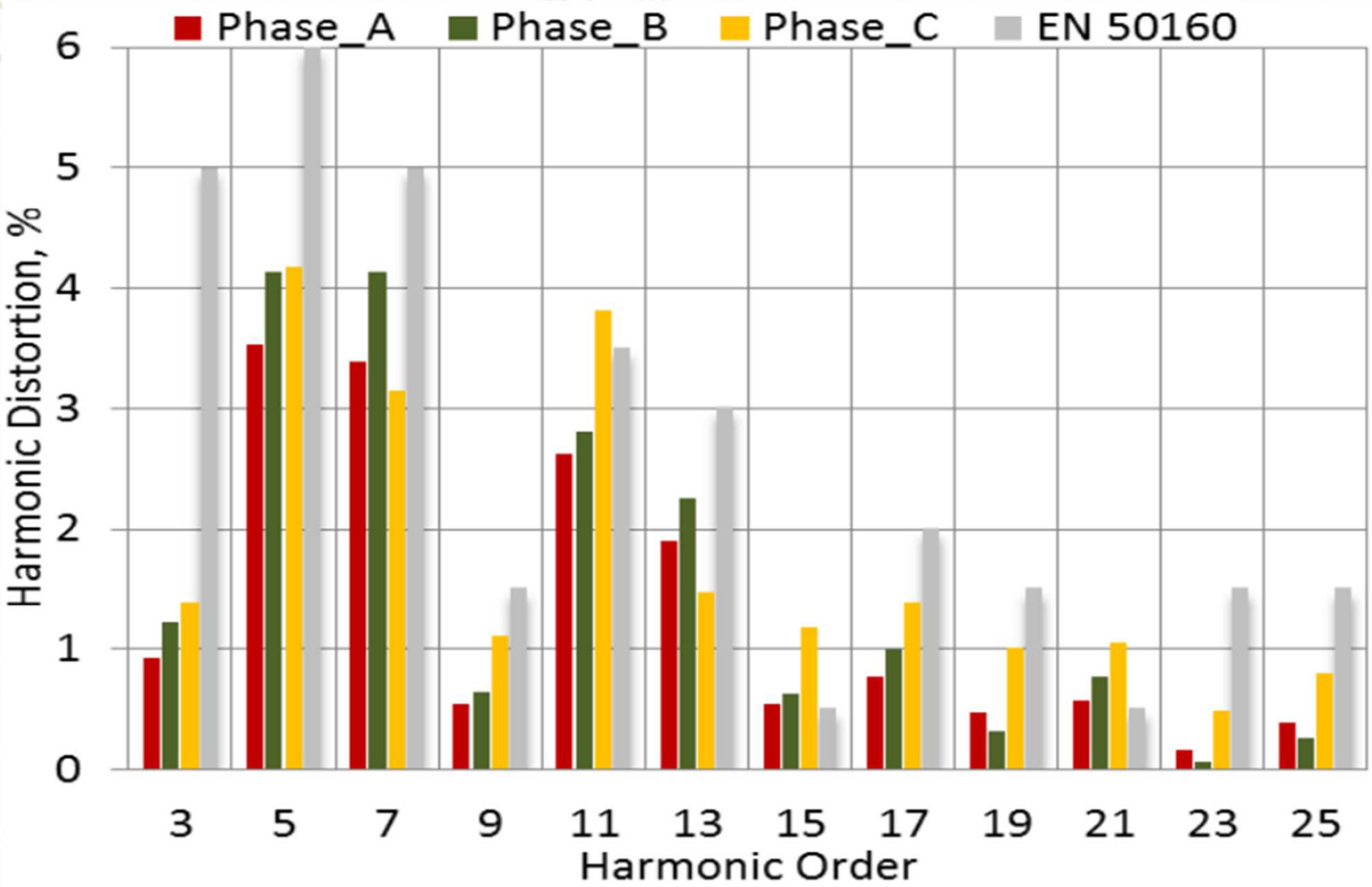


	EV2	Absent		Present	
	EV1	Absent	Present	Absent	Present
EV4	EV3				
Absent	Absent	0	0	0	-53 %
	Present	0	-59 %	-2 %	-53 %
Present	Absent	0	-31 %	-4 %	-32 %
	Present	-3 %	-25 %	-5 %	-26 %

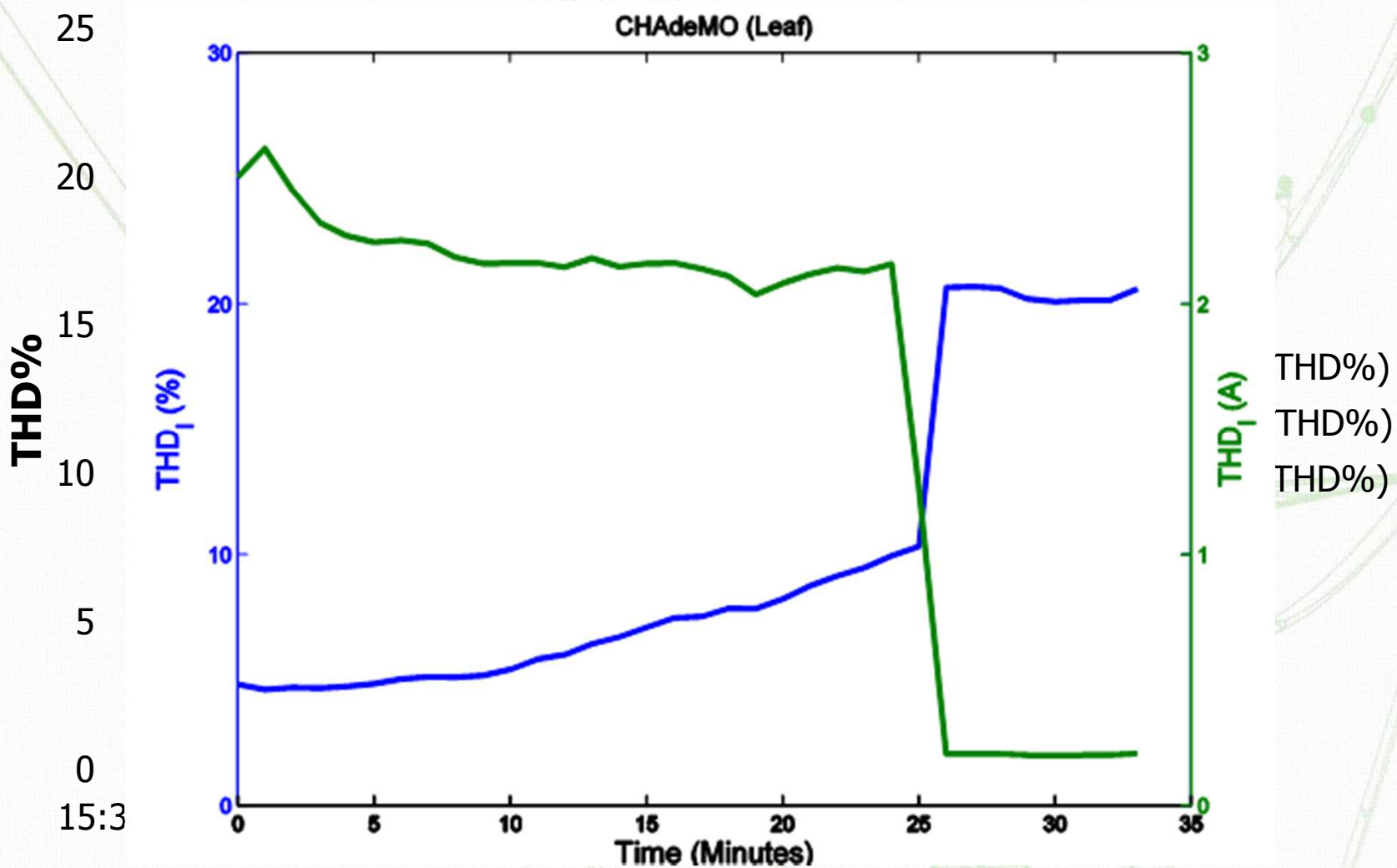
Sztochasztikus szimuláció KIF hálózaton



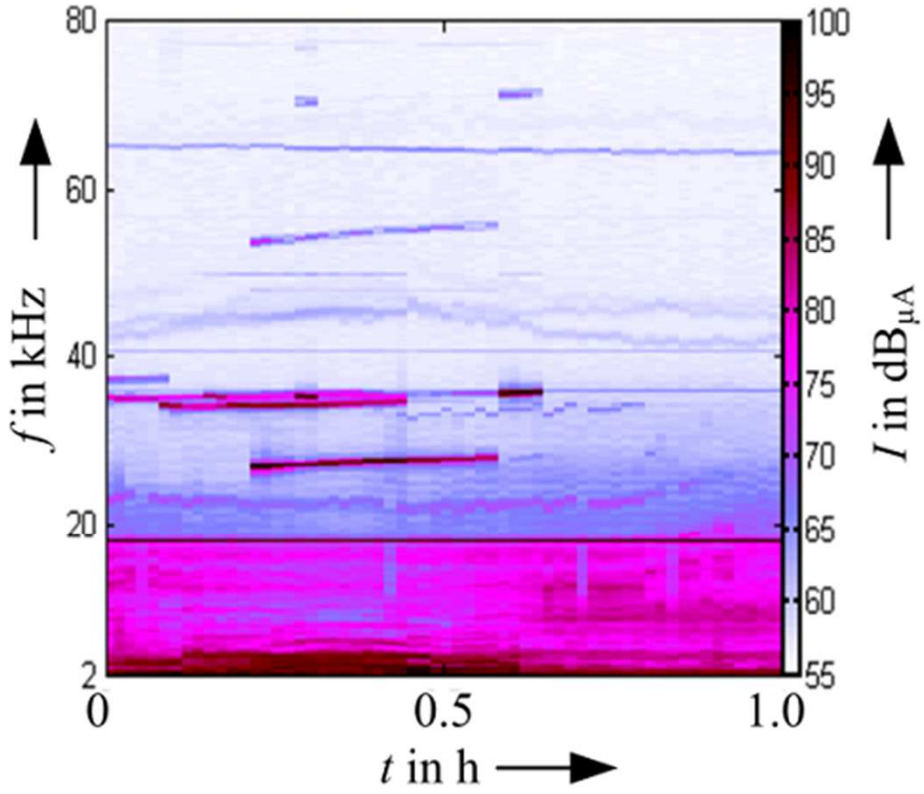
Okozott harmonikus torzulás

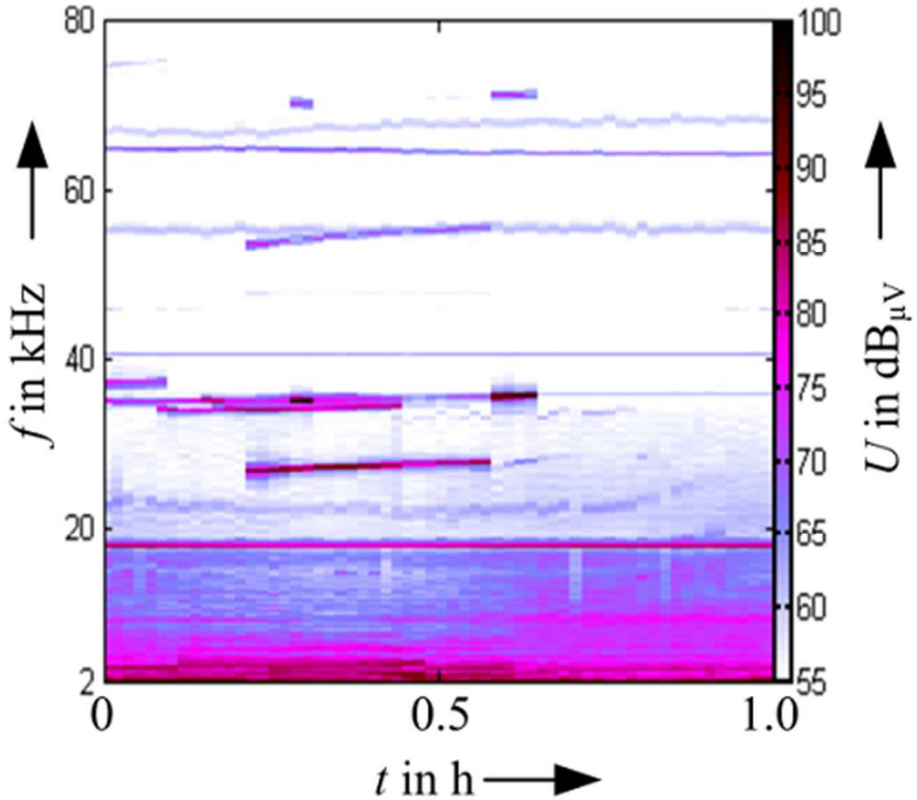


Töltés által okozott hálózati visszahatás - gyorstöltés



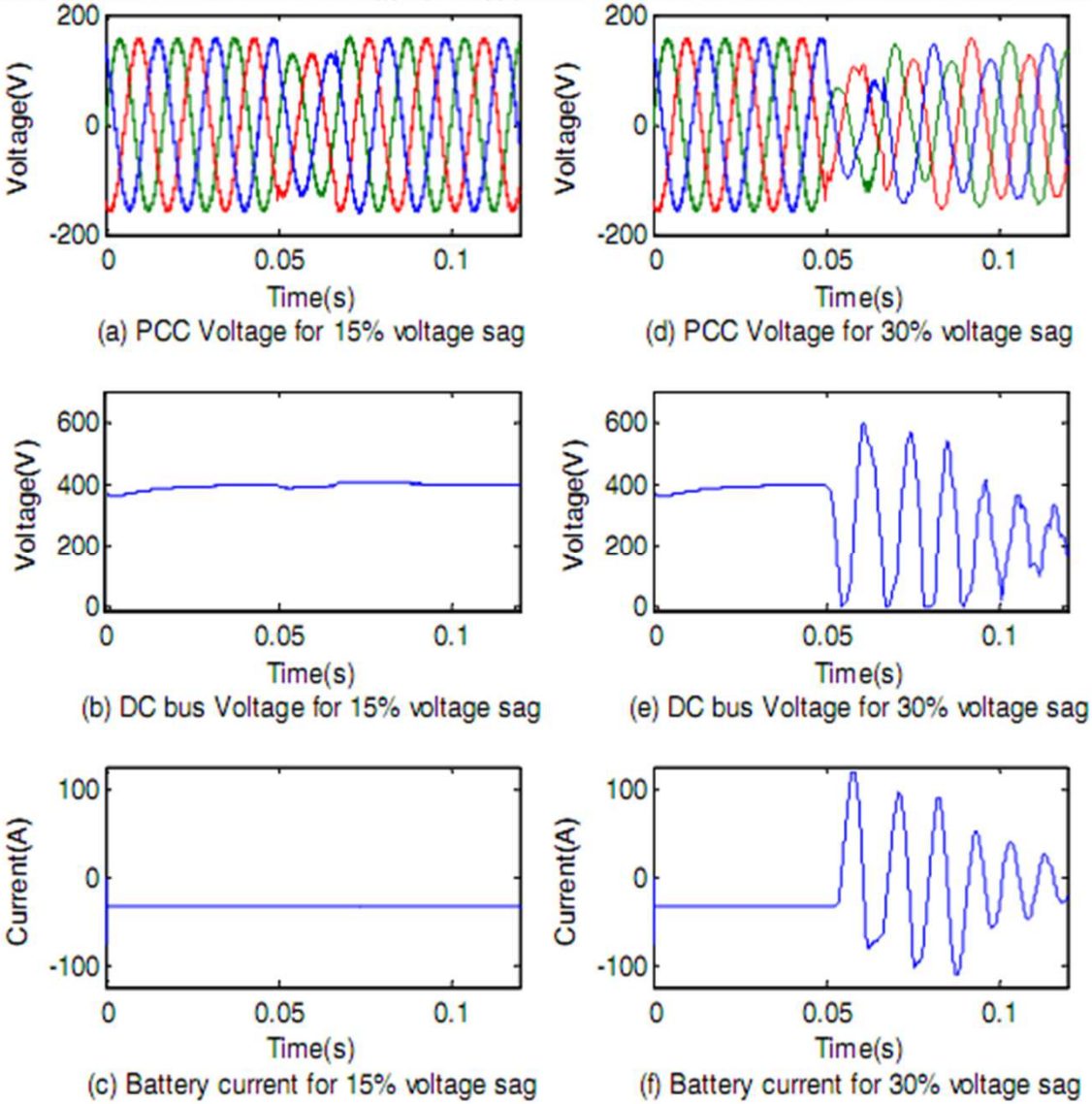
Hatás a 2-150kHz frekvenciatartományban





Feszültségletörések

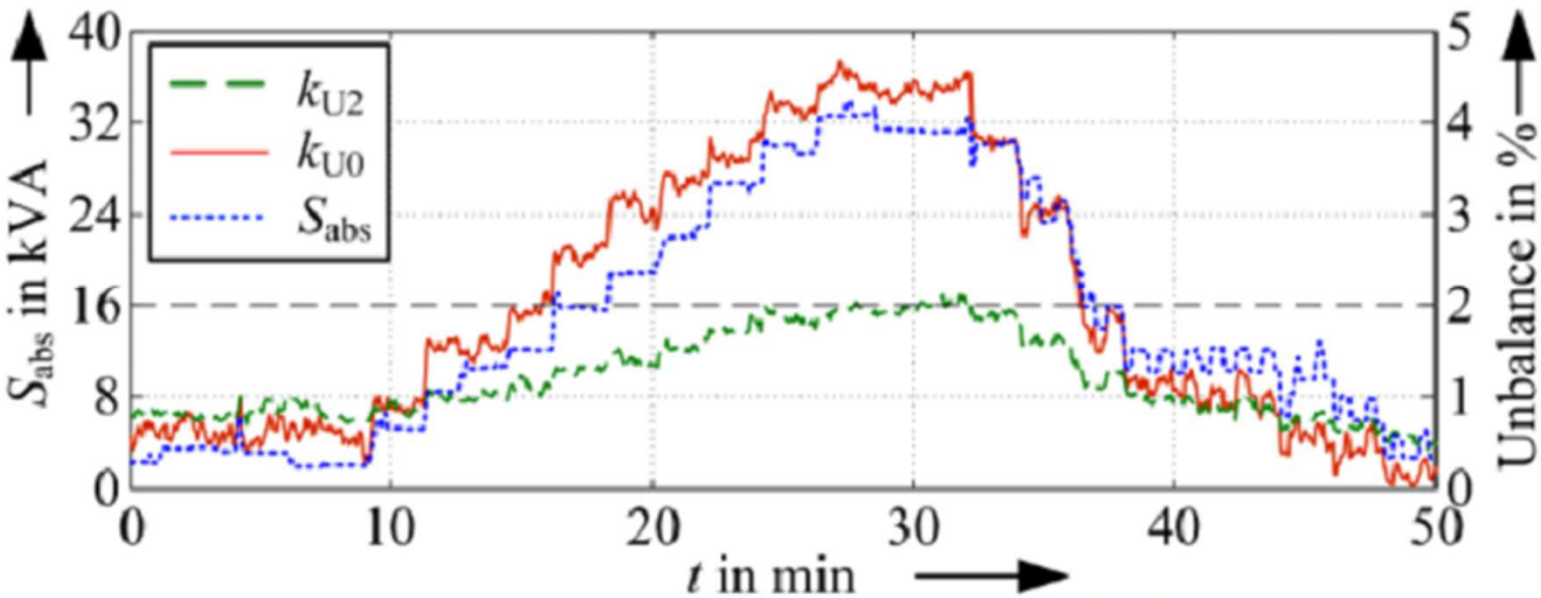
- A töltők ő:
  - 80% m viselni,
  - a teljes ell tudniuk elviseln
- 80% a leválik a hálózatr
- Feszültsé oldalon is jelentős



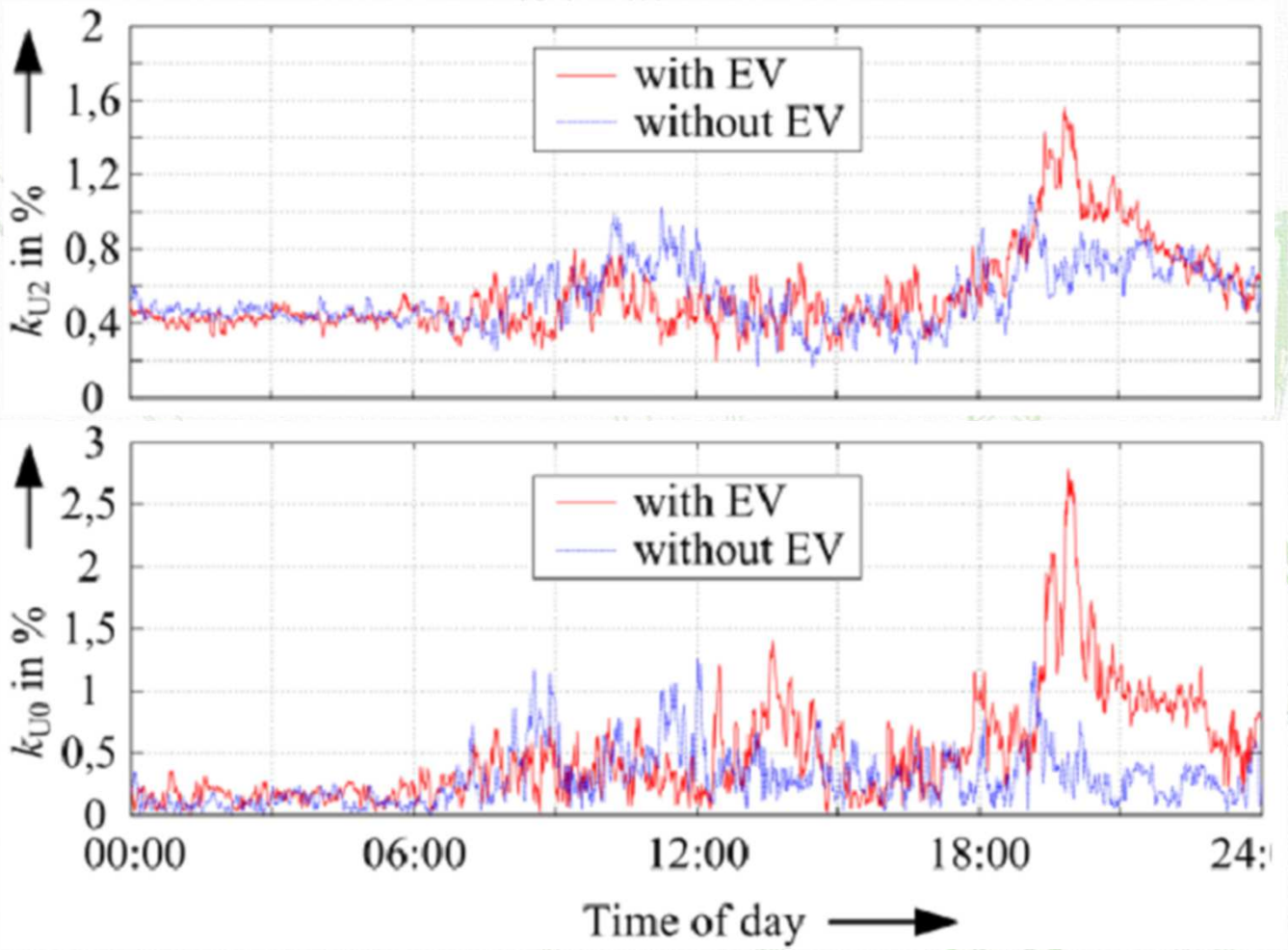
(a) PCC Voltage for 15% voltage sag
(d) PCC Voltage for 30% voltage sag
(b) DC bus Voltage for 15% voltage sag
(e) DC bus Voltage for 30% voltage sag
(c) Battery current for 15% voltage sag
(f) Battery current for 30% voltage sag

Aszimmetria

- Negatív és zérus sorrendű aszimmetria léphet fel.
- Negatív sorrendre:
  - A mérési időszak alatt a negatív sorrendű összetevő napi, 10 percre átlagolt értékeinek 95%-a nem lehet nagyobb a pozitív sorrendű összetevő 2%-ánál.



Aszimmetria



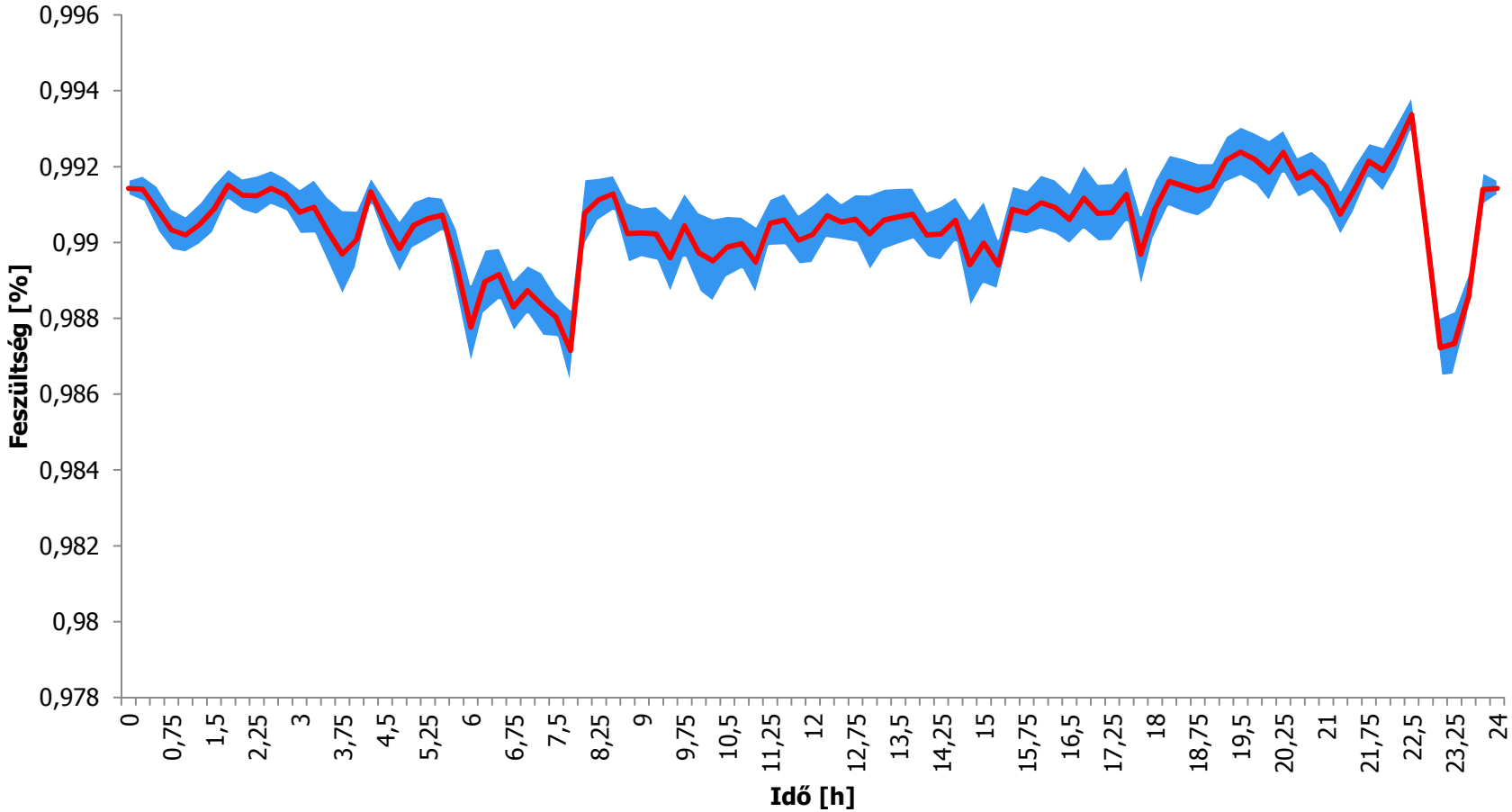
A töltés vezérlésének lehetősége

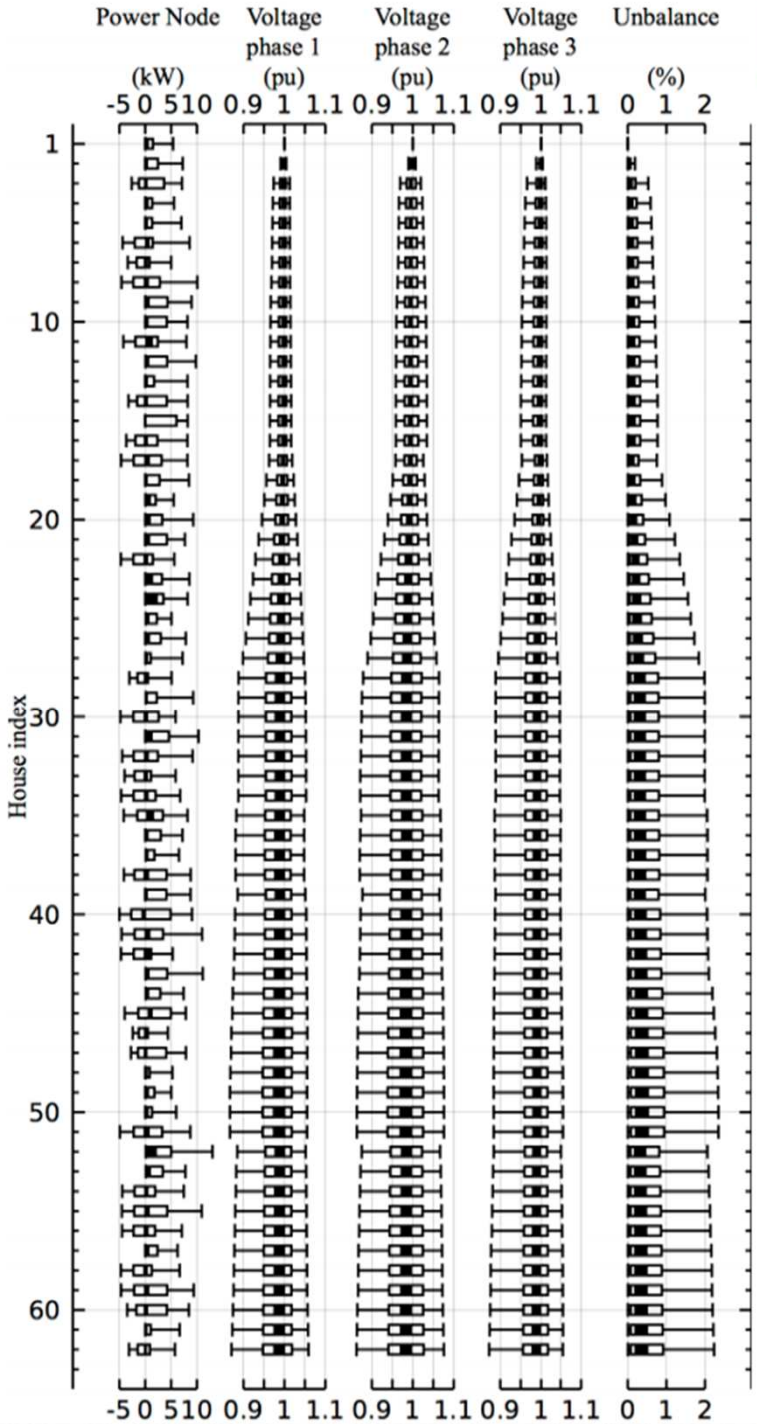
A töltés vezérlése

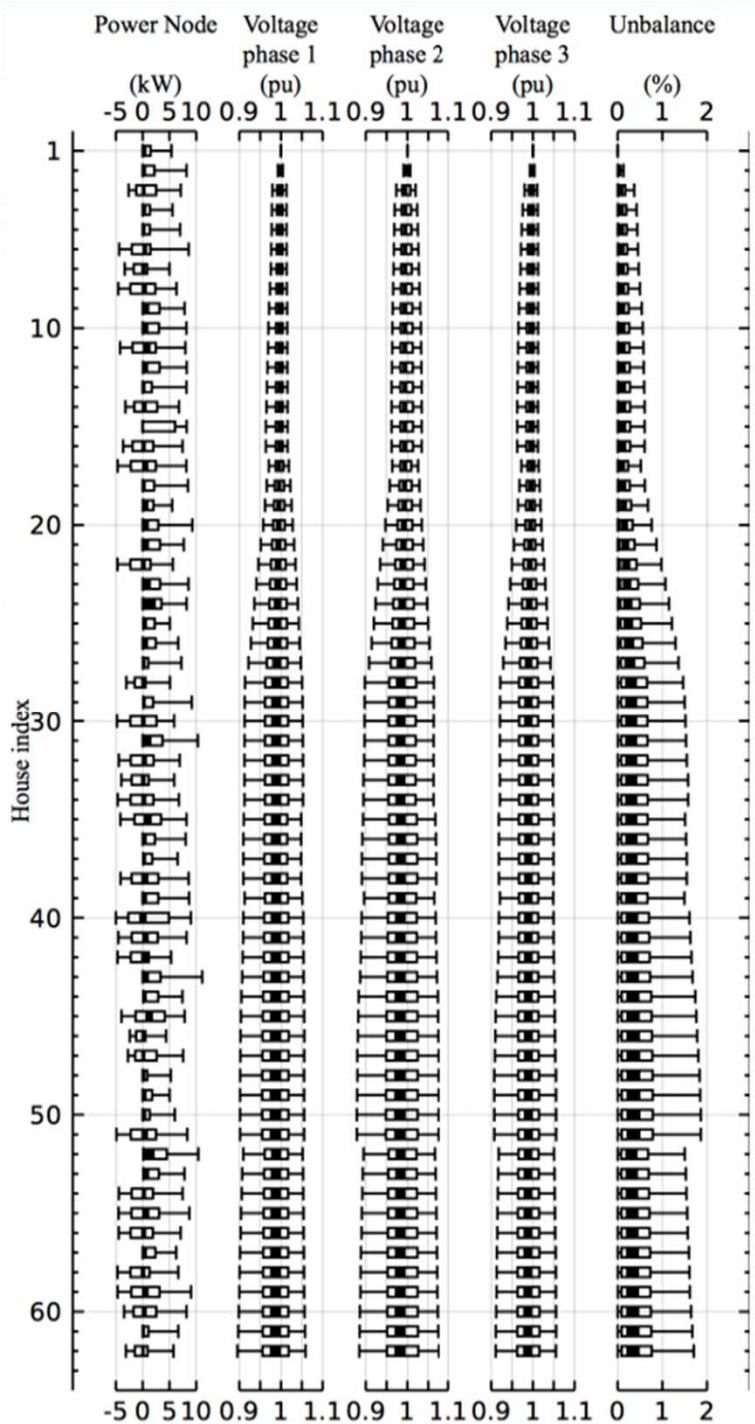
- A DSO ma főleg „offline” feladatokat lát el (asset management, karbantartás).
  - Kevéssé monitorozott (az átviteli hálózathoz képest),
  - Decentralizált módon irányított,
  - Előre beállított rendszersémák (pl. védelmi beállítások) alapján.
- Ezzel szemben egy aktív elosztóhálózat esetén a következőkről beszélhetünk:
  - Terheléselőrejelzés
  - Hálózat állapotbecslése
  - Online mérések végzése
  - Valósidejű beavatkozás
  - Mérők adatainak összegyűjtése és feldolgozása.
- A jövő elosztóhálózatára feltehetően sok vezérelhető háztartási eszköz fog csatlakozni. Ezeket 2 csoportba oszthatjuk:
  - Direkt vezérlésűek, vagyis a DSO közvetlenül ki/be tudja őket kapcsolni.
  - Tarifális vezérlésűek.
- Kérdés: a villamos autók melyik kategóriába fognak tartozni?

Vezéreletlen és vezérelt töltés hatásai

A 3684 sz. gyűjtősín A fázisának feszültsége 23:00-kor meginduló töltések esetén




Power Node (kW)
Voltage phase 1 (pu)
Voltage phase 2 (pu)
Voltage phase 3 (pu)
Unbalance (%)
House index
-5 0 5 10
0.9 1 1.1
0 1 2
1
10
20
30
40
50
60


Power Node (kW)
Voltage phase 1 (pu)
Voltage phase 2 (pu)
Voltage phase 3 (pu)
Unbalance (%)
House index
-5 0 5 10
0.9 1 1.1
0 1 2
1
10
20
30
40
50
60

A töltés vezérlése - Célfüggvények

- A vezéreletlen töltés által okozott, az előbbiekben ismertetett hatásokat szeretnénk kiküszöbölni a töltés vezérlésével.
- Ez köztes út a vezéreletlen – teljesen smart töltés között, utóbbi megvalósulása azonban időben várhatóan messzebb van (és kérdés, hogy van-e rá szükség).
- A vezérelt töltés esetén szükséges megfogalmazni, hogy milyen célfüggvény szerinti optimalizálást szeretnénk megvalósítani:
  - minimálhatjuk a hálózaton a töltés következtében fellépő veszteségeket. A tulajdonosok ilyenkor csak annyit mondhatnak meg, hogy az akkumulátor mikorra legyen feltöltve. A töltési teljesítmény nem állandó a töltés során.
  - figyelhetjük a csomóponti feszültségeket: a szabványban meghatározott értéktartományból ne lépjünk ki. Szakirodalom szerint a veszteség minimalizálásával egyúttal a feszültségesés is minimális lesz.
  - piaci alapon is végezhetjük a vezérlést: ilyenkor cél lehet egyrészt a felhasználók számára minimális árat biztosítani; másrészről a villamosenergia-piacon részt venni. Ezzel a témával előadásomban nem foglalkozom.
  - természetesen az itt felsorolt szempontokat együttesen is figyelembe lehet venni.

A töltés vezérlése - Célfüggvények

- A DSO szerepe a töltés vezérlésében a következő lehet:
  - a DSO-nak lehet teljes kontrollja (centralizált töltés): ilyenkor a tölteni kívánó autónak ő mondja meg, hogy mikor tölthet.
  - DSO kontroll a töltési intervallumokra: ilyenkor a felhasználó megadhatja, hogy mikor szeretne tölteni, s a DSO ezeket az igényeket figyelembe véve alakítja ki a töltési intervallumokat (ha van szabad kapacitás a megjelölt időtartományban, akkor ott tölthet az autó).
  - a DSO csak a szabad idősávokat adja meg, ezek közül az autó tulajdonosa szabadon választhat.
  - teljesen decentralizált töltés: a járműtulajdonosok döntik el, hogy mikor és mekkora teljesítménnyel töltenek. Fő befolyásolási eszköz: a villamos energia ára. Rendszer szempontjából nem optimális a töltés ilyenkor.
- Természetesen szükség lehet újrarendezésre: ehhez az SOC értékeket lehet figyelembe venni.

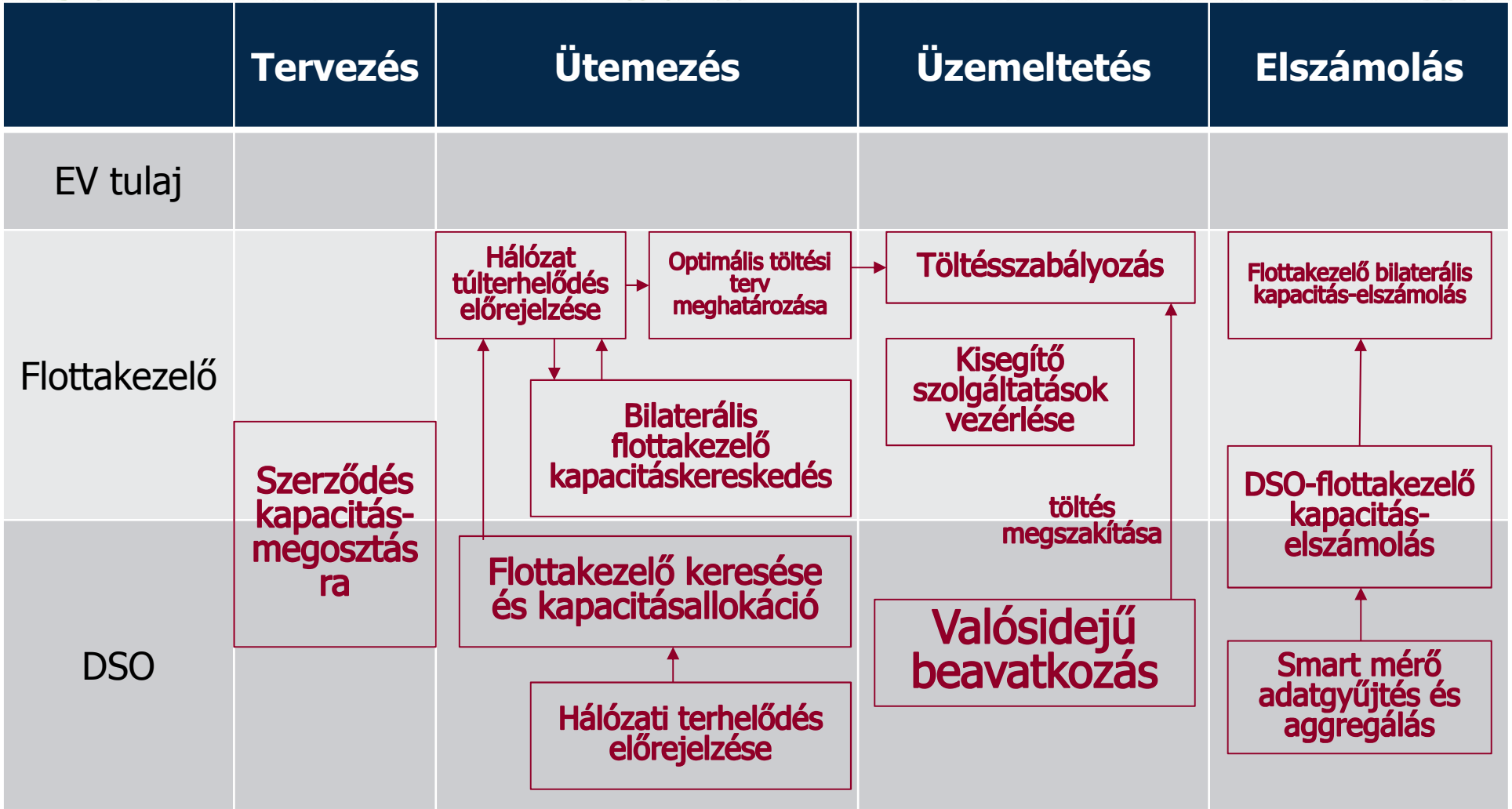
A töltés vezérlése - Célfüggvények

- Ha piaci alapon szeretnénk optimalizálást végezni, akkor a következők jöhetnek szóba:
  - Elosztóhálózati kapacitáspiac: ilyenkor a flottakezelő minden csomópontra teljesítményigény-menetrendet nyújt be a DSO-nak. A DSO egy-egy árat küld vissza, ami tükrözi a hálózat terheltségét, s egyúttal a menetrend frissítését kéri. A folyamat akkor áll meg, amikor úgy tudjuk az igényeket kiszolgálni, hogy minden hálózati korlátot be tudunk tartani.
  - Előzetes kapacitásallokáció: a DSO a rendelkezésre álló kapacitást előre ki tudja osztani (kW-ban mért) statikus kapacitáskorlátok megadásával: ehhez alapul a transzformátorok és kábelek terhelhetőségét, valamint a várható terhelési görbéket kell figyelembe venni. A villamos autóval rendelkező háztartások ezt követően megkapnák a rendelkezésre álló kapacitás rájuk eső részét a flottakezelőn keresztül. Ha nincs aki elhasználja ezt a kapacitást, akkor a flottakezelő értékesíti.
  - Dinamikus hálózati tarifa: a várható csomóponti fogyasztások alapján a DSO idő- és helyfüggő árakat határoz meg. A flottakezelő pedig az előrejelzett spot árak és a dinamikus hálózati tarifa alapján állítja össze az optimális menetrendet.

Elosztóhálózati kapacitáspiac

	Tervezés	Ütemezés	Üzemeltetés	Elszámolás
EV tulaj				EV tulaj elszámolás
Flottakezelő		Optimális töltés tervezése Aggregálás tervezése	Töltésszabályozás Kisegítő szolgáltatások vezérlése	Energiapiac elszámolás Flottakezelő elszámolás
DSO		Piaci árak iteratív számítása Hálózati terhelések becslése	töltés megszakítása Valósidejű beavatkozás	Smart mérő adatgyűjtés és aggregálás

Előzetes kapacitásallokáció



Dinamikus hálózati tarifa

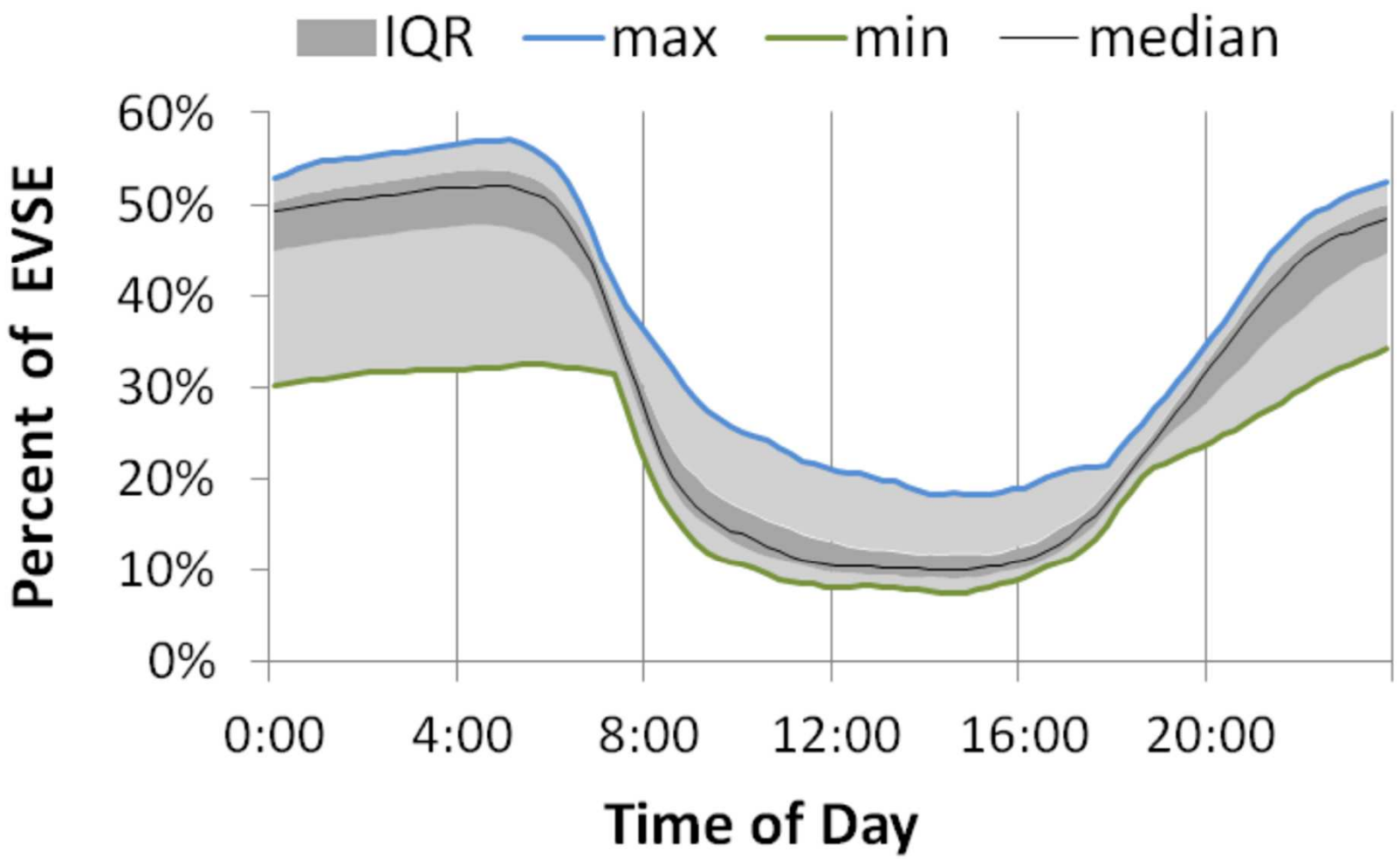
	Tervezés	Ütemezés	Üzemeltetés	Elszámolás
EV tulaj				EV tulaj elszámolás
Flottakezelő		Optimális töltési terv számítás	Töltésszabályozás Kisegítő szolgáltatások vezérlése	Energiapiaci elszámolás
DSO	Árérzékeny igény-modell	Csomóponti/ág árak számítása és közzététele Hálózat terhelődésének előrejelzése Igény előrejelzése	töltés megszakítása Valósidejű beavatkozás	Hálózathasználati díj kiszámlázása Smart mérő adatgyűjtés és aggragálás

Megújuló energiatermelés és villamos autók

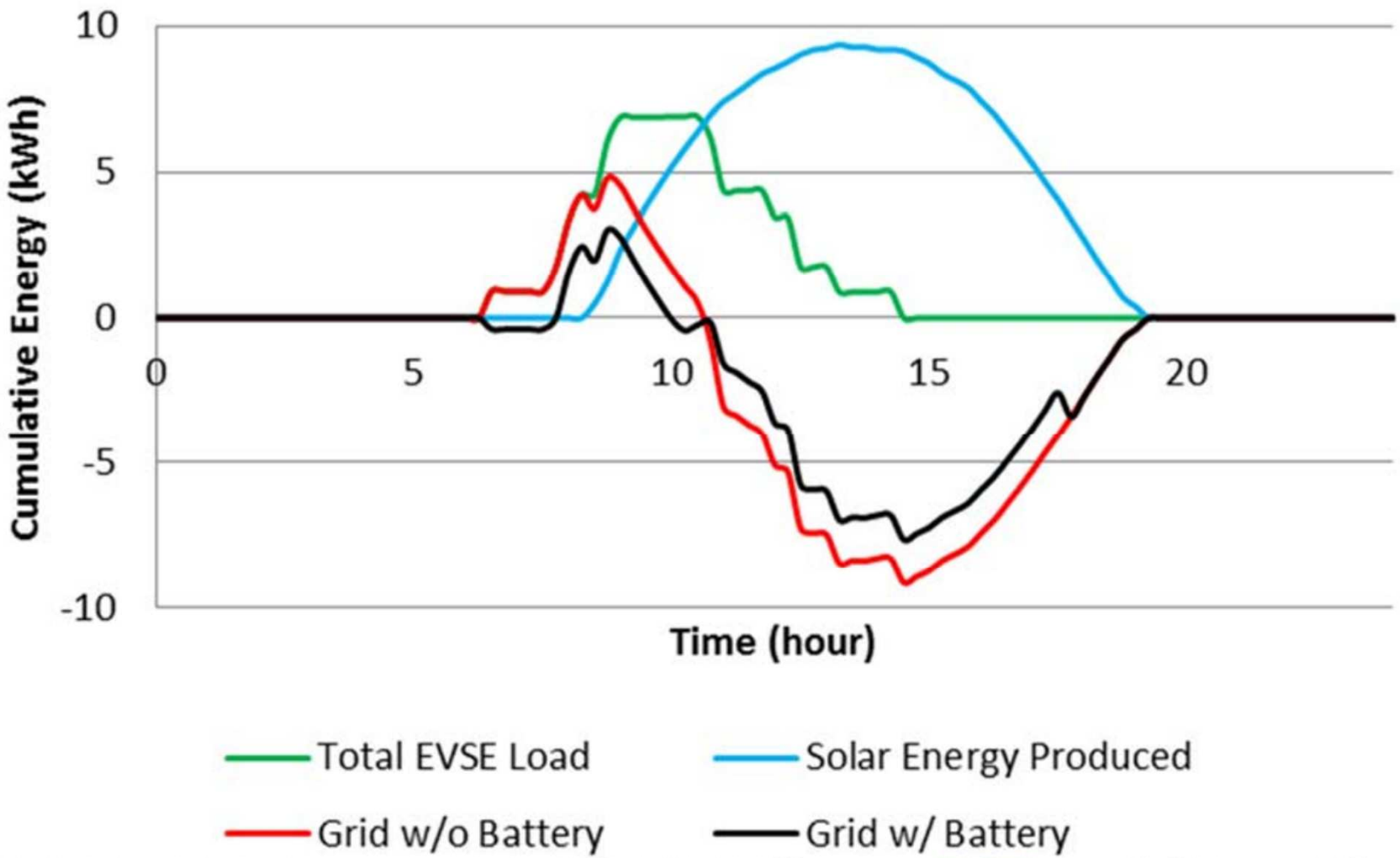
Megújuló energiatermelés és villamos autók

- Meg kell különböztetni otthoni töltés és töltőállomásbeli töltési lehetőségeket:
  - Otthoni töltés esetén a napelem termelése és az autó töltése nem esik egy időintervallumba, így szükség van köztes energiatárolóra.
  - Töltőállomásbeli töltés esetén jobban van lehetőség a termelés és a fogyasztás fedésére; különösen igaz ez az akkumulátorcserélős vagy köztes energiatárolót alkalmazó töltőállomásokra.

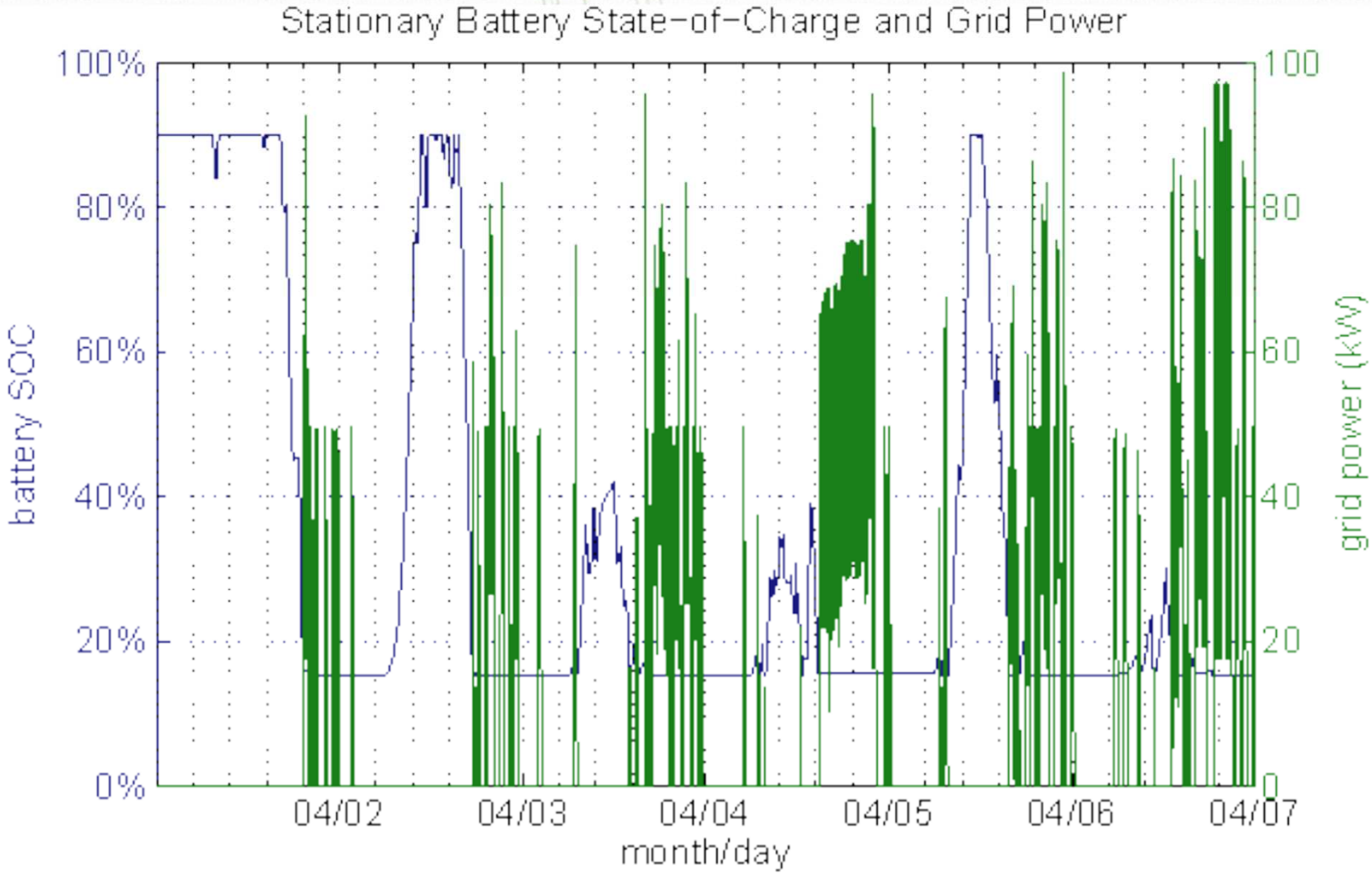
Elérhetőség töltésre



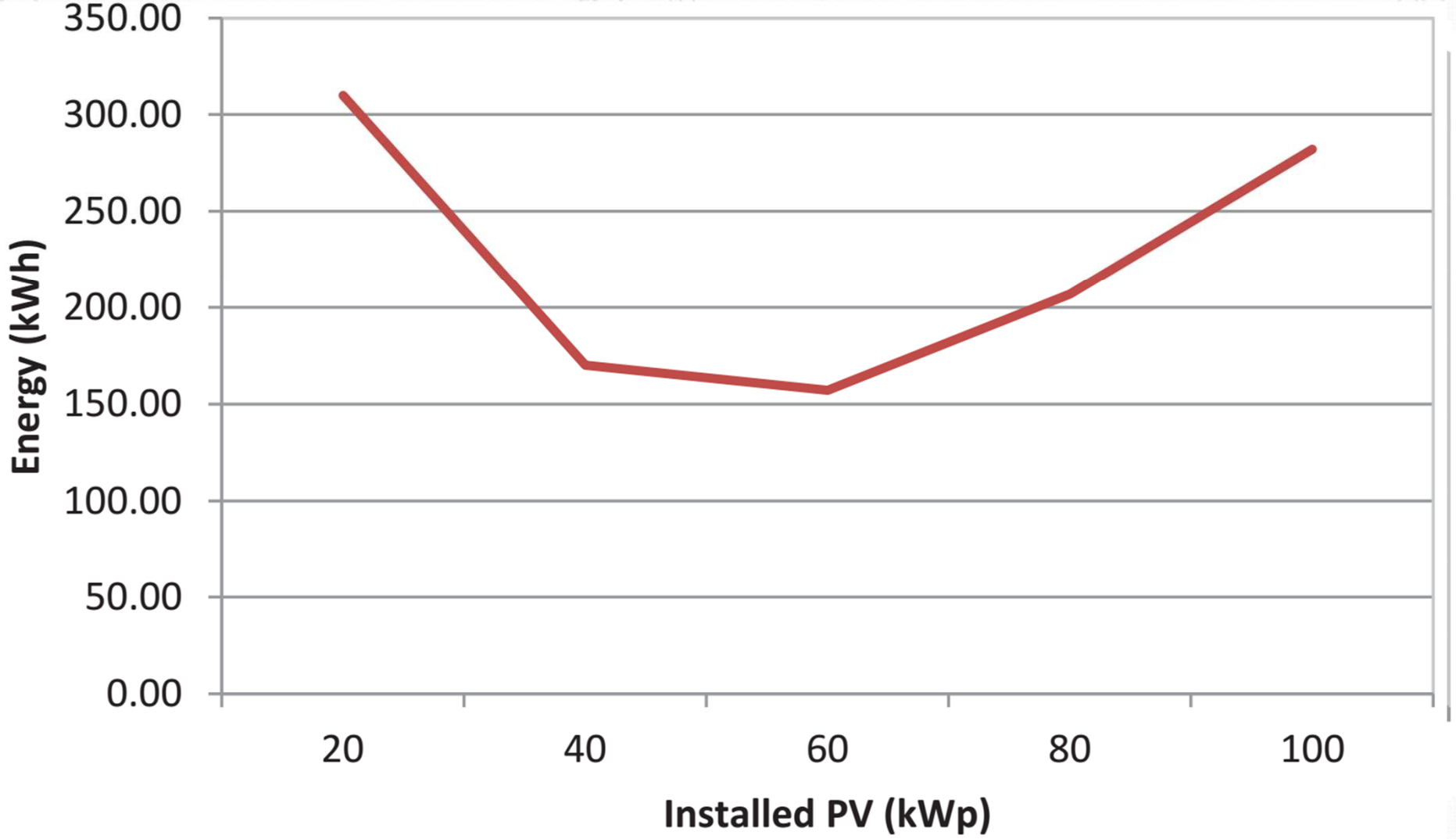
Töltés köztes energiatárolóval

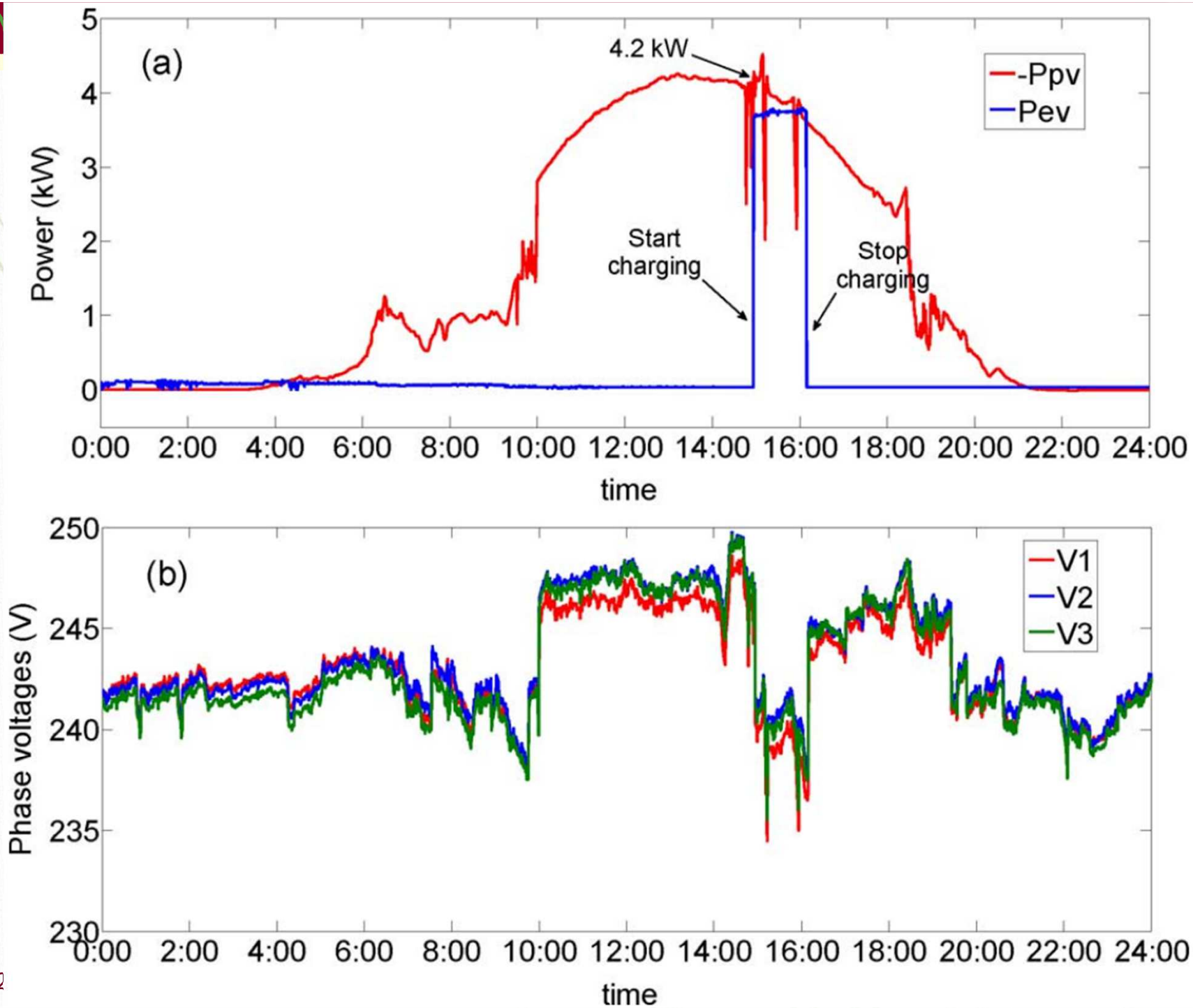


Töltés köztes energiatárolóval - gyorstöltő



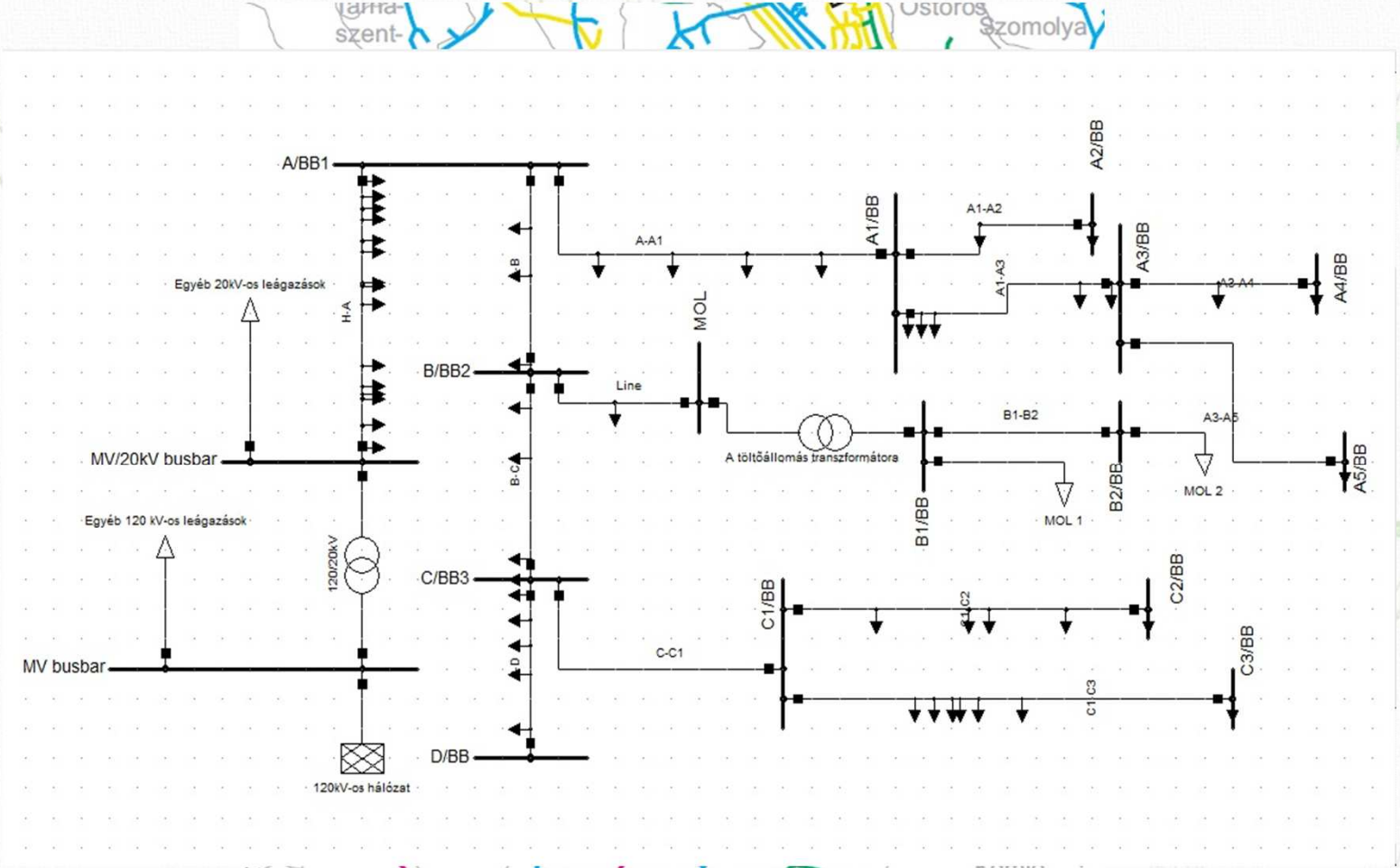
Töltőállomás és PV szinergia



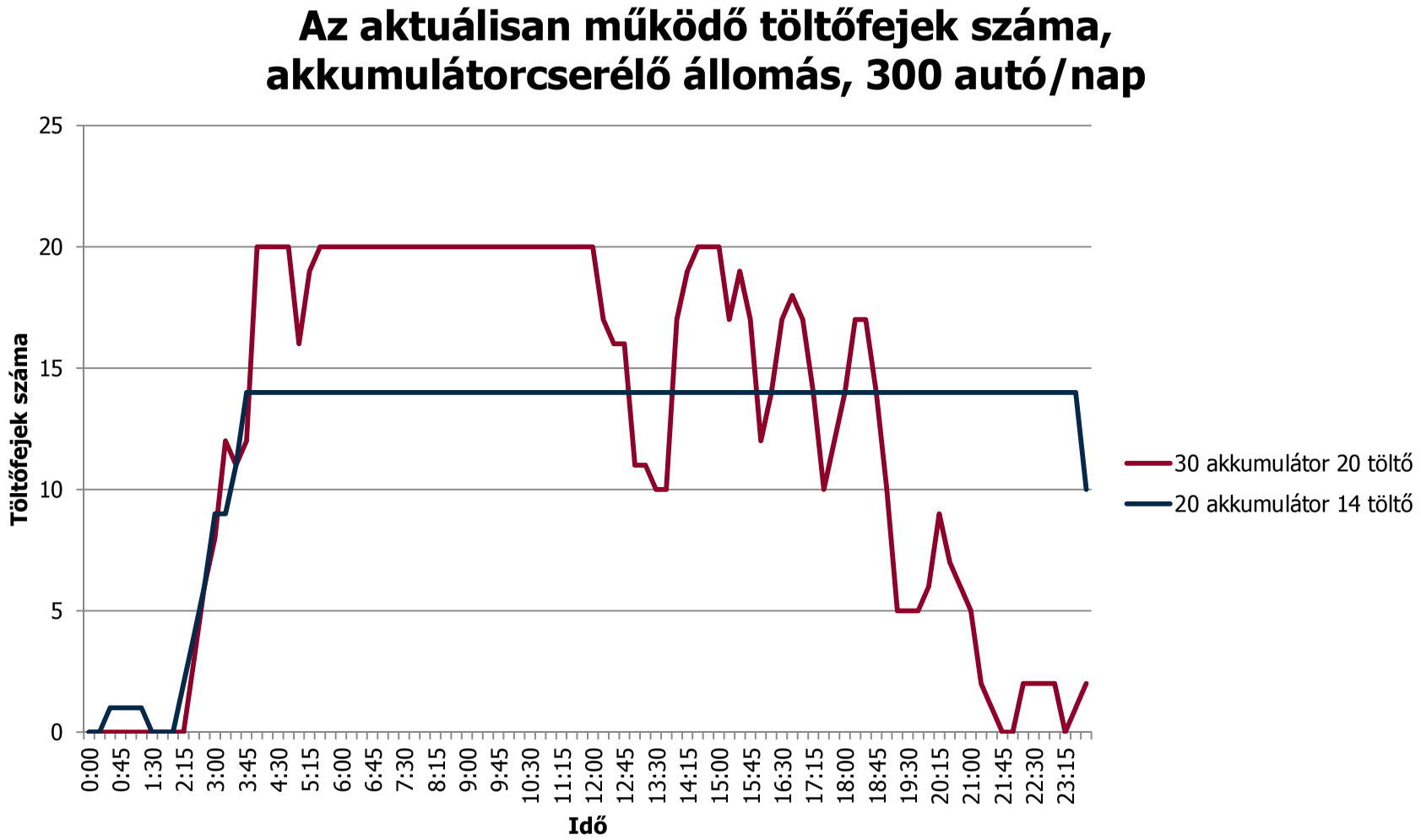

(a)
4.2 kW
-Ppv
Pev
Start charging
Stop charging
Power (kW)
time
(b)
V1
V2
V3
Phase voltages (V)
time

Gyorstöltés hatása KÖF hálózaton

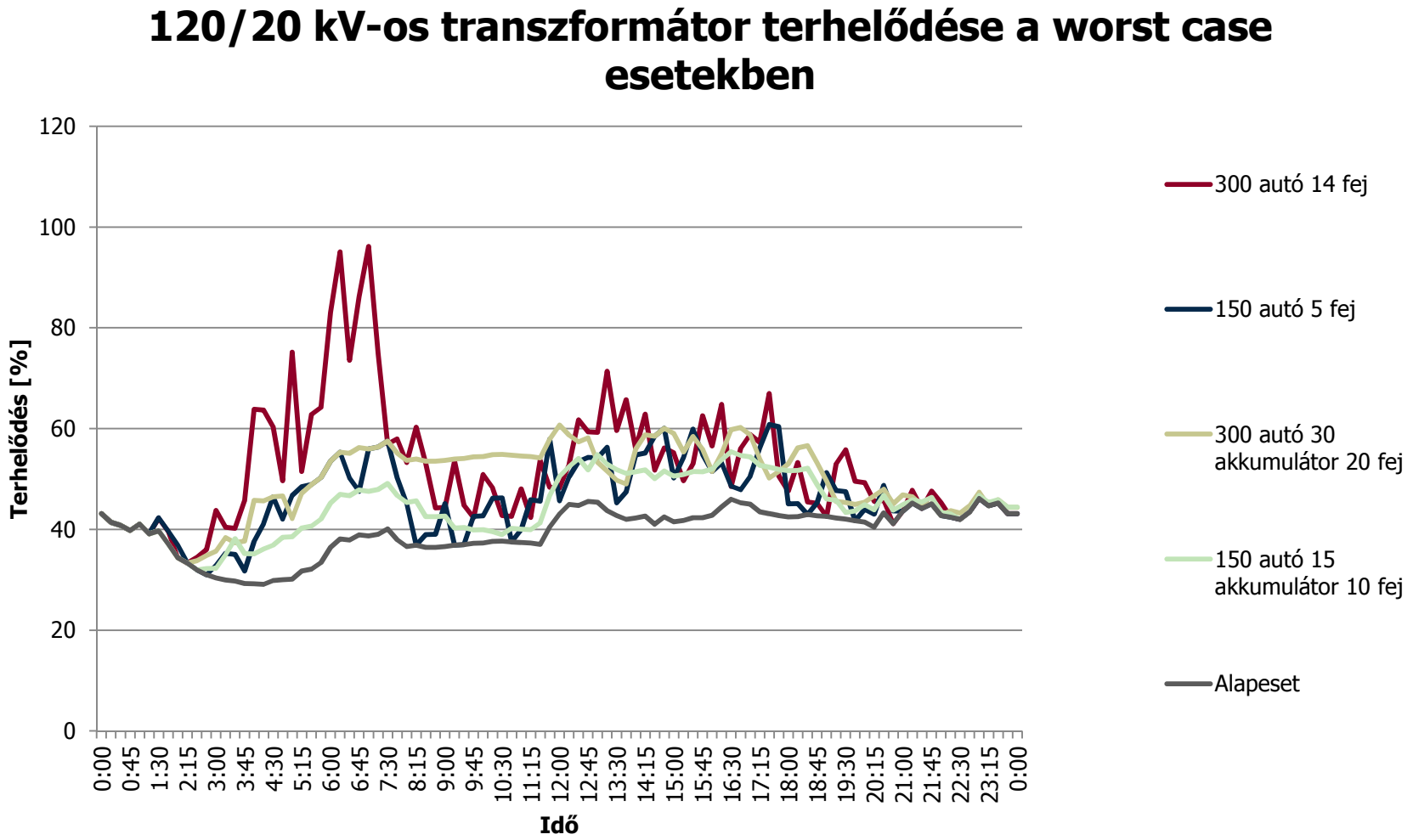
Gyorstöltés KÖF hálózaton



Töltőállomás kiterheltsége



Gyorstöltés KÖF hálózaton – direkt töltés ill. akkumulátorcserélős töltőállomás



Egy érdekesség: vezeték nélküli töltők

Vezeték nélküli töltők

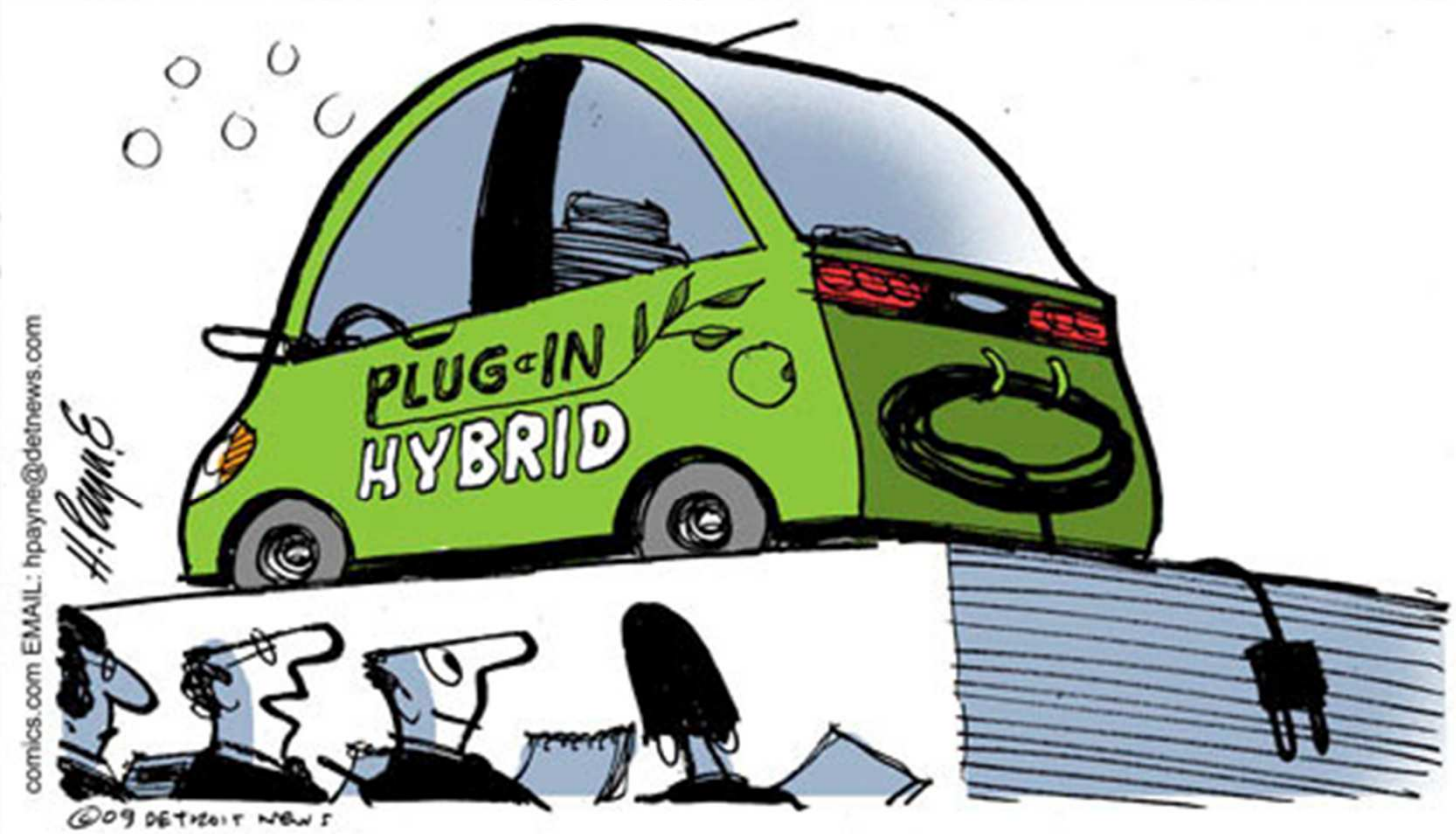
Konklúziók

- Felfutóban lévő villamos autó szám
- Megfelelő szabványosítás egyelőre hiányzik, de ez csak idő kérdése
- Hálózati hatások jelentősek lehetnek:
  - Hálózati elemek terhelődése, feszültségesés
  - Harmonikus torzulás, 2-150kHz tartományban zavarás
  - Aszimmetria
  - Fantom terhelés
  - Töltés vezérlésével a hatások mérsékelhetőek
- Megújuló forrásokkal (főleg napelemes HMKE) jó szinergia, de
  - csak villamos autókkal a tárolás nem oldható meg, szükség van köztes tárolóra
  - töltőállomásokon is valószínűsíthető köztes tároló szükségessége
  - kétirányú teljesítményáramlás miatt veszteség ugyanúgy jelen van!
- Töltőállomások esetén a hálózat terhelődése jelentősen nem változik

Köszönetnyilvánítás

- A szerzők köszönetet szeretnének mondani Dr. Balázs Gergely Györgynek és Kovács Attilának a villamos autók mérési eredményeiért.
- Szeretném megköszönni volt és jelenlegi, önálló laboratóriumot végző, illetve szakdolgozatot/diplomatervet író hallgatóimnak, név szerint Bíró Norbertnek, Pintér Lászlónak és Szűcs Gergelynek, hogy eredményeiket felhasználhattam.

Köszönöm a figyelmet!



"And the gas engine kicks in when the extension cord runs out."

Forrás: Brian McBeth – Mercedes Benz E-mobility concept - EES-UETP Course, DTU, Lyngby, Copenhagen, 2010.

Felhasznált irodalom

- Neville R. Watson, Jeremy D. Watson, Russell M. Watson, Kashani Sharma, Allan Miller, „Impact of electric vehicle chargers on a low voltage distribution system", EEA Conference and Exhibition, June 2015. Wellington, New Zealand
- Friedmann Möller, Sascha Müller, Jan Meyer, Peter Schenger, Carsten Wald, Stephan Isensee, „Impact of electric vehicle charging on unbalance and harmonic distortion – Field study in an urban residential area", CIRED 23th International Conference on Electricity Distribution, Lyon, 15-18. June 2015.
- Alexandre Lucas, Fausto Bonavitacola, Evangelos Kotsakis, Gianluca Fulli, „An experimental approach for assessing the harmonic impact of fast charging electric vehicles on the distribution system", JRC Science and Policy Reports, European Commission, 2015.
- Robert Bass, Nicole Zimmerman, „Impacts of electric vehicle charging on electric power distribution systems", Oregon Transportation Research and Educational Consortium, final report, 2013.
- Soumya Kundu, Ian A. Hiskens, "Overvoltages due to synchronous tripping of plug-in electric vehicle chargers following voltage dips", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29., no. 3., June 2014., pp. 1147-1156.
- Xiaoqiang Guo, Jian Li, Xiaoyu Wang, "Impact of grid and load disturbances on electric vehicle battery in G2V/V2G and V2H mode", *2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Montreal, Canada, 20-24. September 2015., pp. 5406-5410.
- ELMŰ-ÉMÁSZ belső tanulmány
- Nemzetgazdasági Minisztérium: Előterjesztés a Kormány részére a Jedlik Ányos tervről (2015. május)
- PWC: Merre tart az elektromos autók piaca? http://www.pwc.com/hu/hu/kiadvanyok/assets/pdf/merre_tart_az_elektromos_autok_piaca-e-car_2014.pdf, 2014.
- http://insideevs.com/wp-content/uploads/2014/06/road-charging.jpg
- http://static.electronicsweekly.com/engineer-in-wonderland/wp-content/uploads/sites/28/2015/08/Highways-England-vehicle-charging.jpg
- Kristien Clement, Edwin Haesen, Johan Driesen, „Coordinated charging of multiple plug-in hybrid electric vehicles in residential distribution grids", 2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, 15-18. March 2009., Seattle, USA, pp. 1-7.
- Kornschnok Dittawit, Finn Arve Aagesen, „Electric vehicle charging scheduling and analysis on impact to electric vehicle owners' comfort"
- Junjie Hu, Shi You, Morten Lind, Jacob Østergaard, „Coordinated charging of electric vehicles for congestion prevention in the distribution grid", IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5., no. 2., March 2014., pp. 703-711.
- Peter Bach Andersen, Junjie Hu, Kai Heussen, „Coordination strategies for distribution grid congestion management in a multi-actor, multi-objective setting", 2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe, Berlin
- Sharmistha Bhattacharyya, J.F.G. Cobben, „Harmonic network pollution in a low voltage network", IEEE PES General Meeting, 25-29. July 2010, Minneapolis
- Lauri Kütt, Eero Saarijärvi, Matti Lehtonen, Heigo Mölder, Jaan Niitsoo, „Current harmonics of EV chargers and effects of diversity to charging load current distrortions in distribution networks", 2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo
- Antti Supponen, Antti Rautiainen, Joni Markkula, Antti Mäkinen, Pertti Järventausta, Sami Repo, „Power quality in distribution networks with electric vehicle charging – a research methodology based on field tests and real data", 2016 Eleventh International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies
- Jaan Niitsoo, Jako Kilter, Ivo Palu, Paul Taklaja, Lauri Kütt, „Harmonic levels of domestic and electrical vehicle loads in residential distribution networks"
- Wilfired van Sark, „PV, EV and self-consumption", Copernicus Symposium, Uthrecht, 2015., http://www.uu.nl/en/file/12985/download?token=_rUusjeL
- Stylianos I. Vagropoulos, Lenos Hadjidemetriou, Anastasios G. Bakirtzis, Elias Kyriakides, „Assessment of electric losses minimization in commercial facilities through combined EV charging and PV generation operation"
- F. Marra, G. Y. Yang, Y. T. Fawzy, C. Træholt, E. Larsen, R. Garcia-Valle, M. Møller Jensen, „Improvement of local voltage in feeders with photovoltaic using electric vehicles", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28., no. 3, August 2013, pp. 3515-3516
- M. Tesfaye, C. C. Castello, „Minimization of impact from electric vehicle supply equipment to the electric grid using a dynamically controlled battery bank for peak load shaving"
- M. Simpson, T. Markel, „Plug-in electric vehicle fast charge station operational analysis with integrated renewables", International Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium (EVS26), Los Angeles, May 6-9. 2012.
- Stephen Schey, Don Scoffield, John Smart, „A first look at the impact of electric vehicle charging on the electric grid in The EV Project", International Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium (EVS26), Los Angeles, May 6-9. 2012.