

***A villamosenergia-
rendszer
elosztóhálózati
flexibilitása
Magyarországon***

Péter Gábor Mihály
E.ON Észak-dunántúli Áramhálózati Zrt.

2025.05.19.

e-on

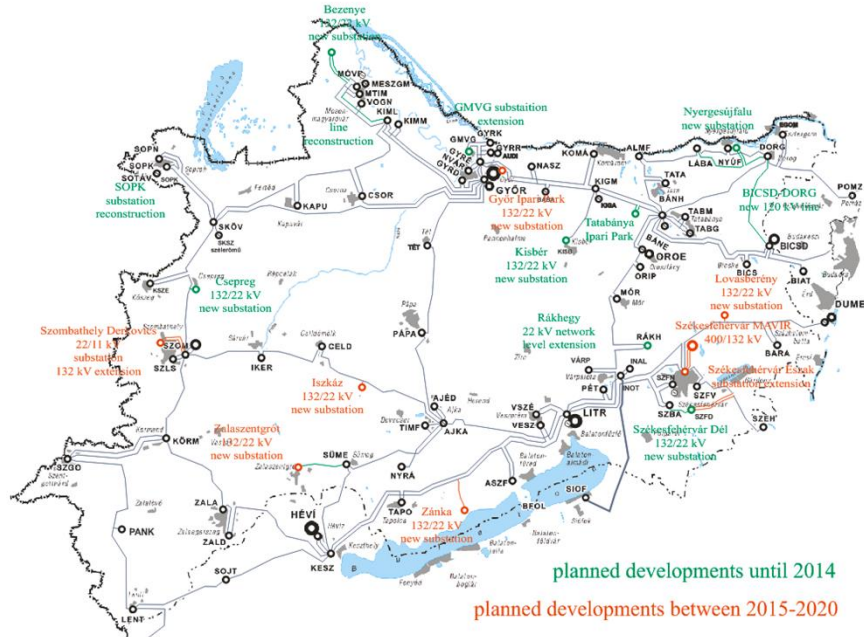


Elosztóhálózat és változó szerepe

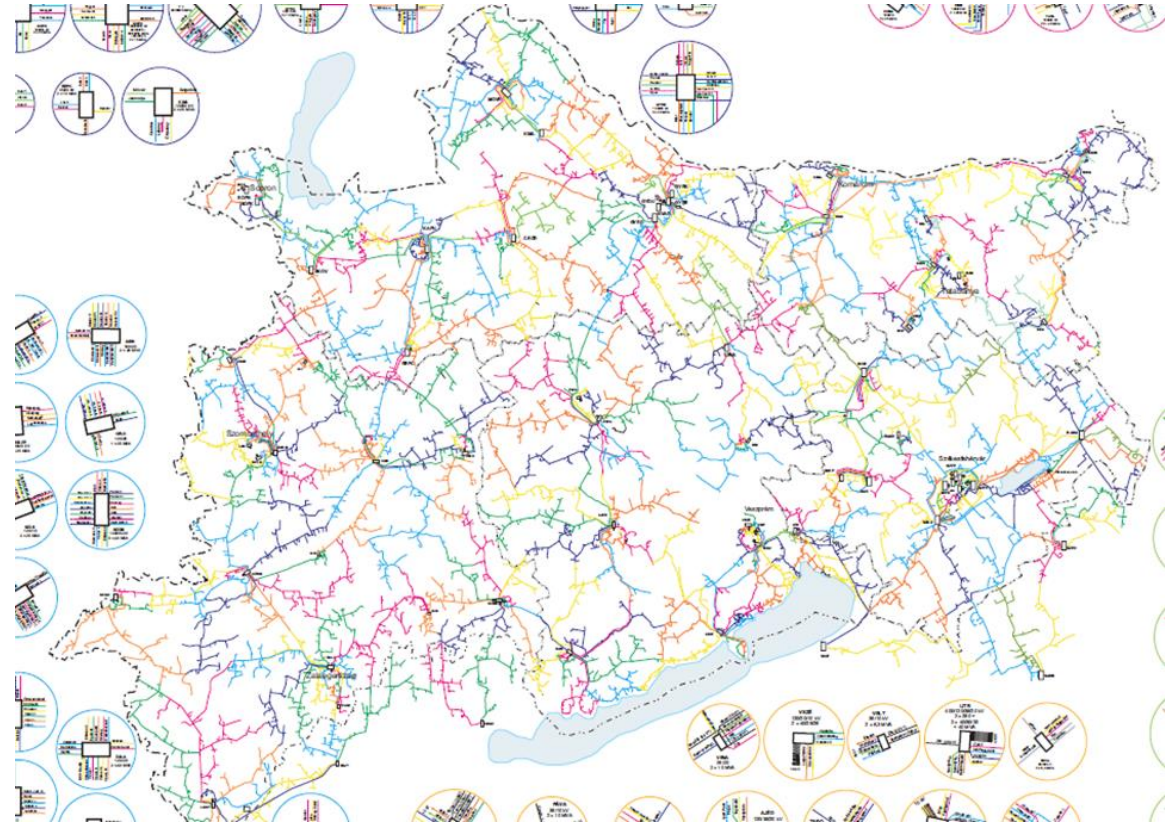
1

Villamos-energia rendszer- Elosztóhálózat (DSO) szerepe

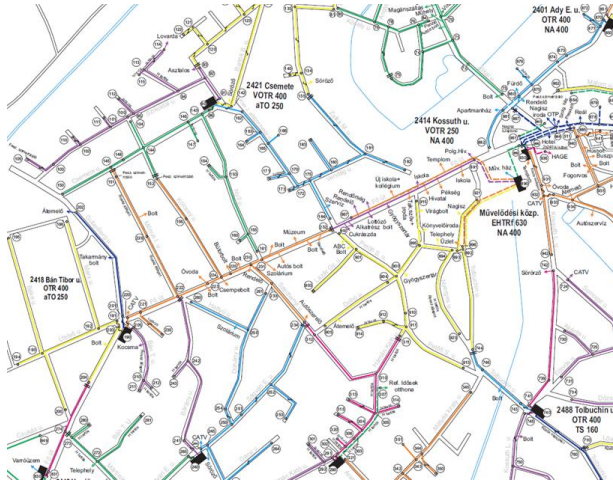
EON EED -132 kV



EON EED -22 kV

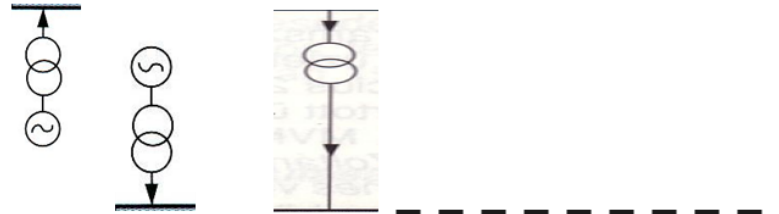


EON -0,4 kV

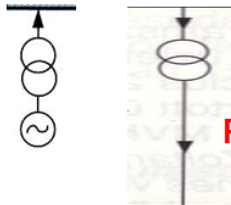


Villamos - energia rendszer- Üzemirányítási struktúra

220, 400, 750 kV
átviteli hálózat

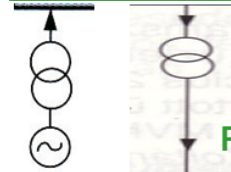


120 kV
elosztóhálózat



Fogyasztók

10, 20 kV
elosztóhálózat



Fogyasztók

0,4 kV

Fogyasztók

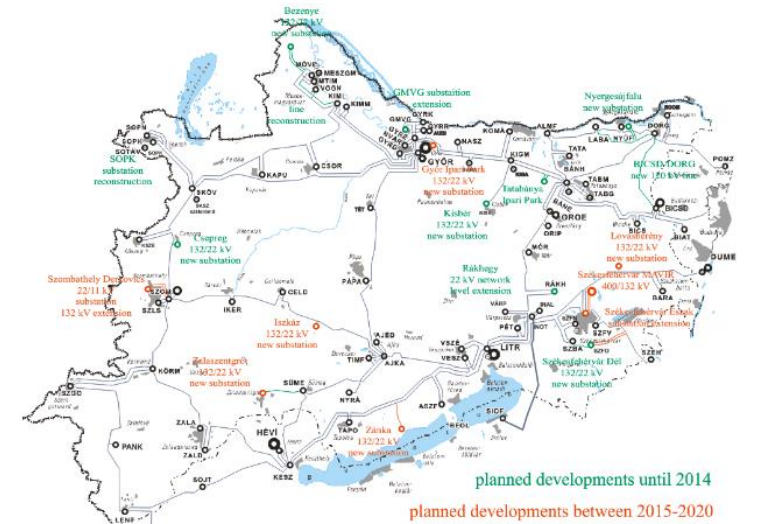
Felelősségi körök:

MAVIR Üzemirányítási központ
NAF

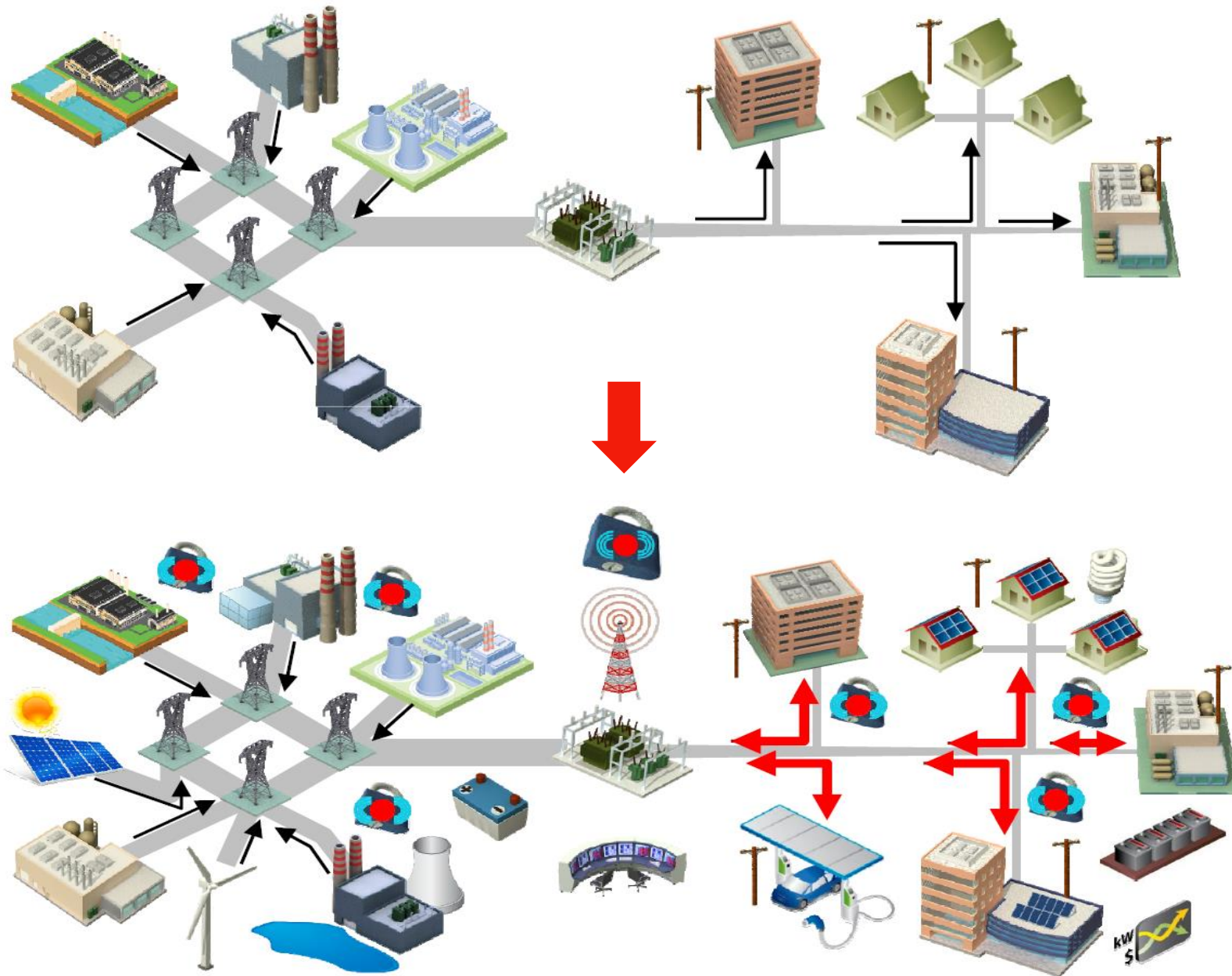
Körzeti Diszpécser Szolgálatok (KDSZ)
NAF

Üzemirányítási központok (ÜIK)
KÖF

Üzemi Koordinátorok
(KIF)



Hagyományos és Okos hálózat- Struktúra

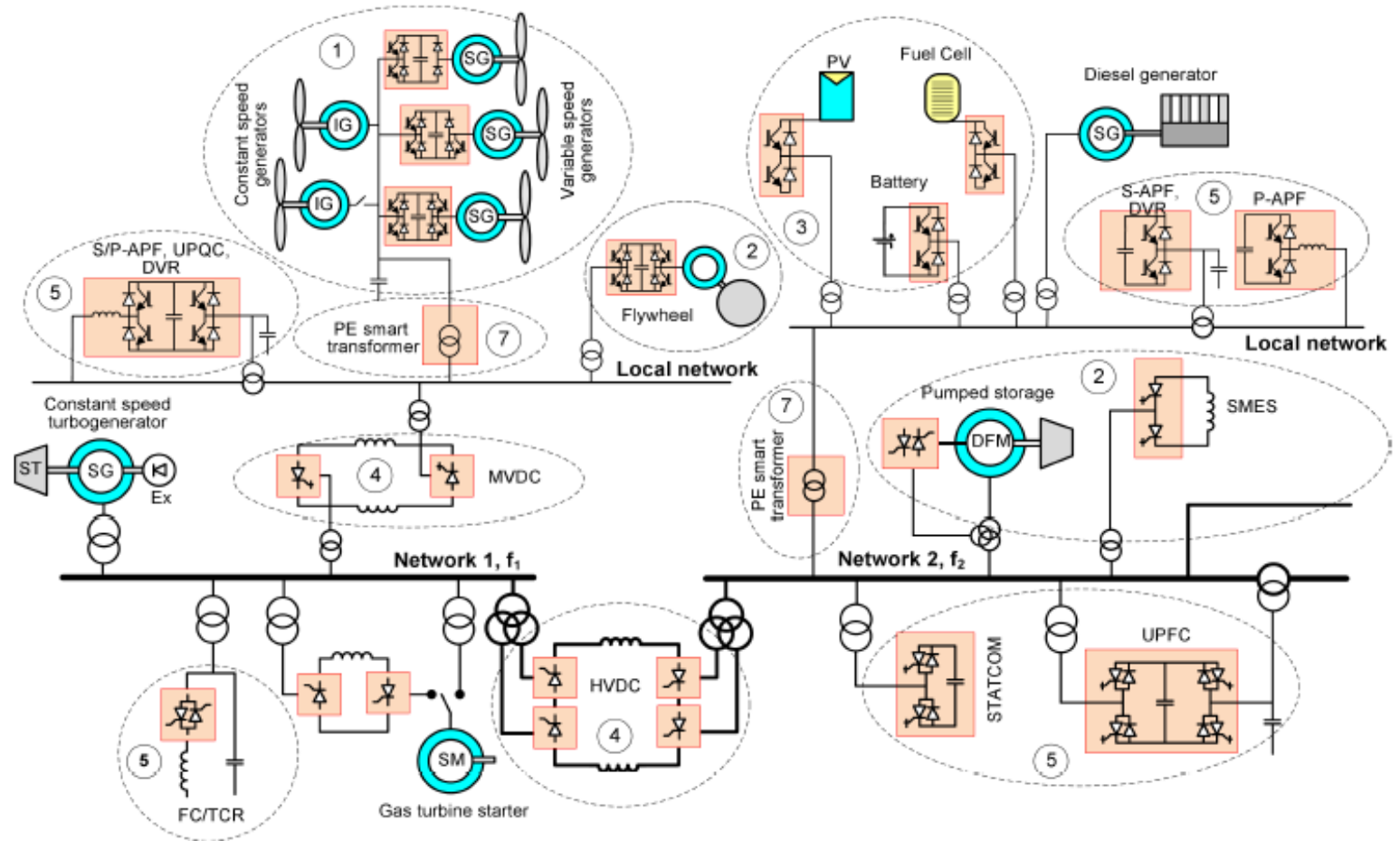


A decentralizált energia források radikális hatással vannak az energia rendszer működésére. DER= Decentralized Energy Resources (Elosztott megújulók, villamos autók, energia tárolók, vezérelhető fogyasztások...). **Egyensúlytalanságot és hálózati szolgáltatási problémákat** is okoznak, energia irány változik, a feszültség esési profil változik. A negatív hatást ugyanők tudják ellensúlyozni **rugalmas szolgáltatásaikkal.**

Új technológiák hálózathoz kapcsolása- Teljesítmény elektronika szerepe (PE)



Energy storage



Teljesítmény elektronika a hálózaton: 1-szélgenerátorok hálózathoz illesztése, 2-Energia tárolók hálózathoz illesztése, 3-Mikrogridek eszközei (napelem, tárolás hálózathoz illesztése), 4- Hálózatok összekötése egyenáramon keresztül, 5-Ellátás minőség javítás, 6- Energia áramlás, 7- Szabályozható Tr. → A rugalmasságot a PE segítségével lehet kihasználni.

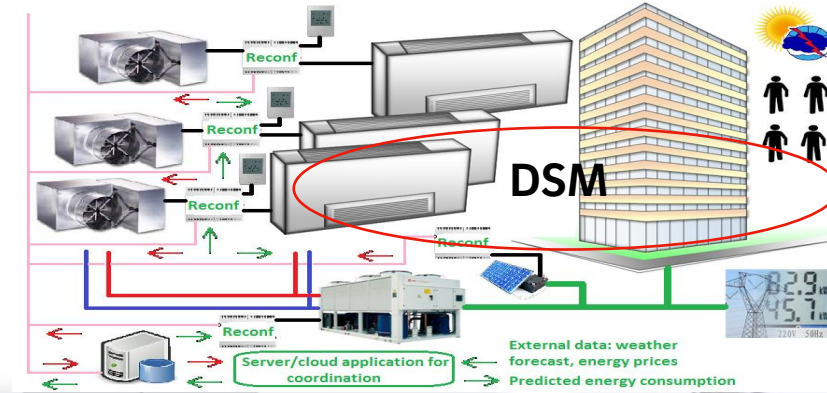
Aktív hálózat menedzsment elemei- többek között ennek része a flexibilitás

**MV earth-fault
localization device**



**MV/LV on-load tap changing
transformers (OLTC)**

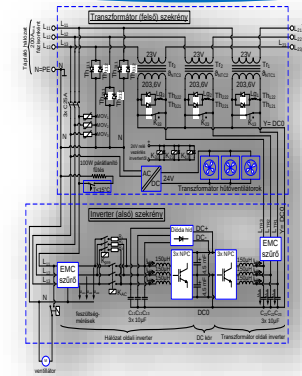
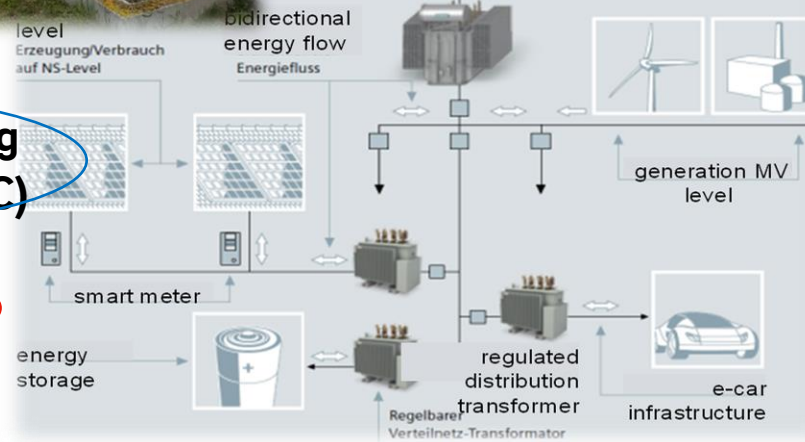
PV inverter regulation



Energy storage



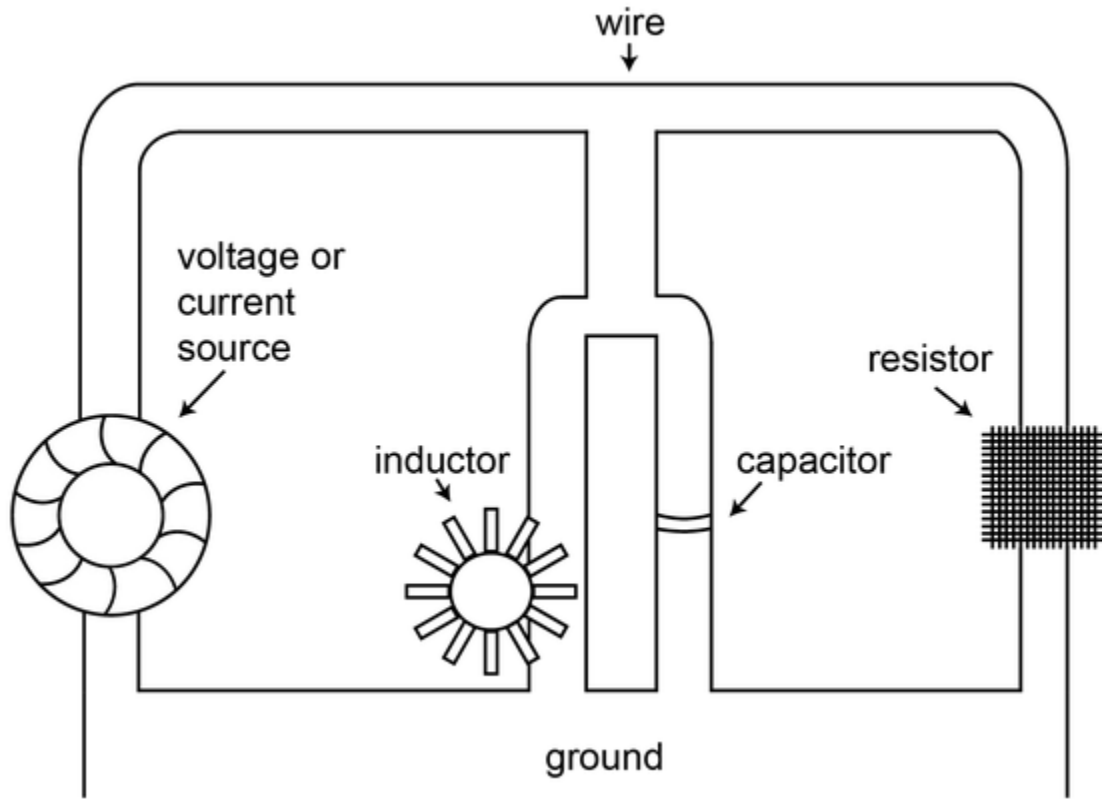
LV: In line voltage control



Kiegészítő információk



A hálózat viselkedése – igen egyszerű analógia



p (nyomás)

G (tömegáram)

M (tehetetlenség)

C (foly. kapacitás)

R (foly. ellenállás)



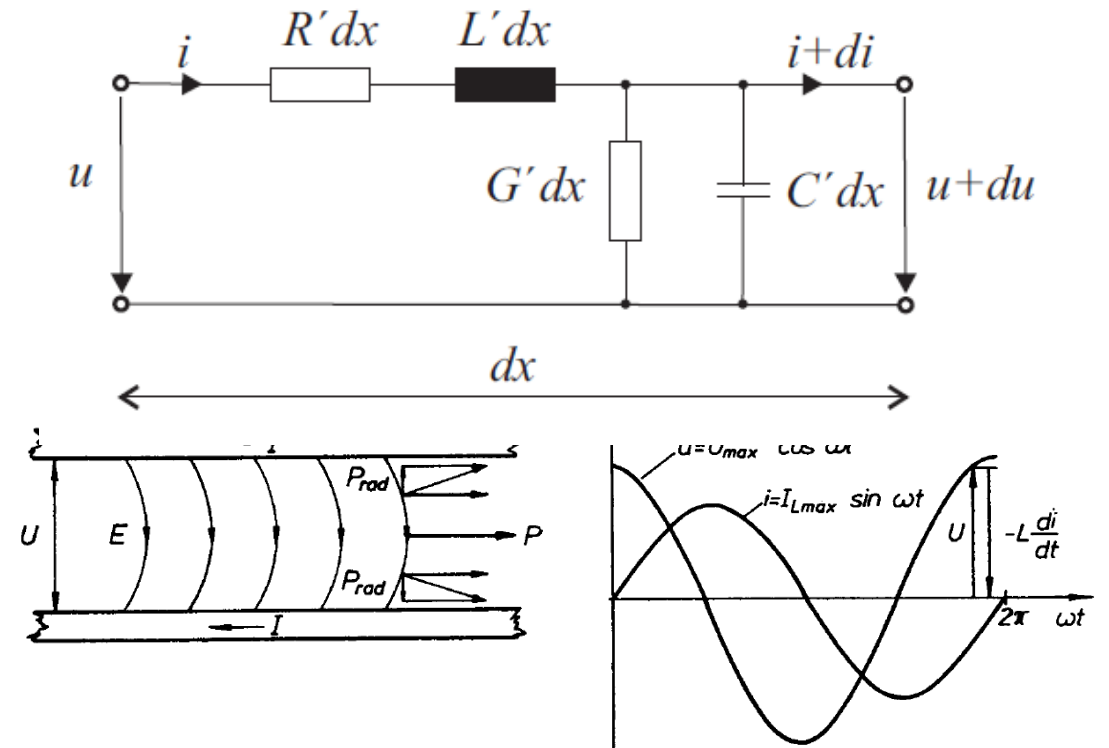
V (feszültség)

I (áram)

L (induktivitás)

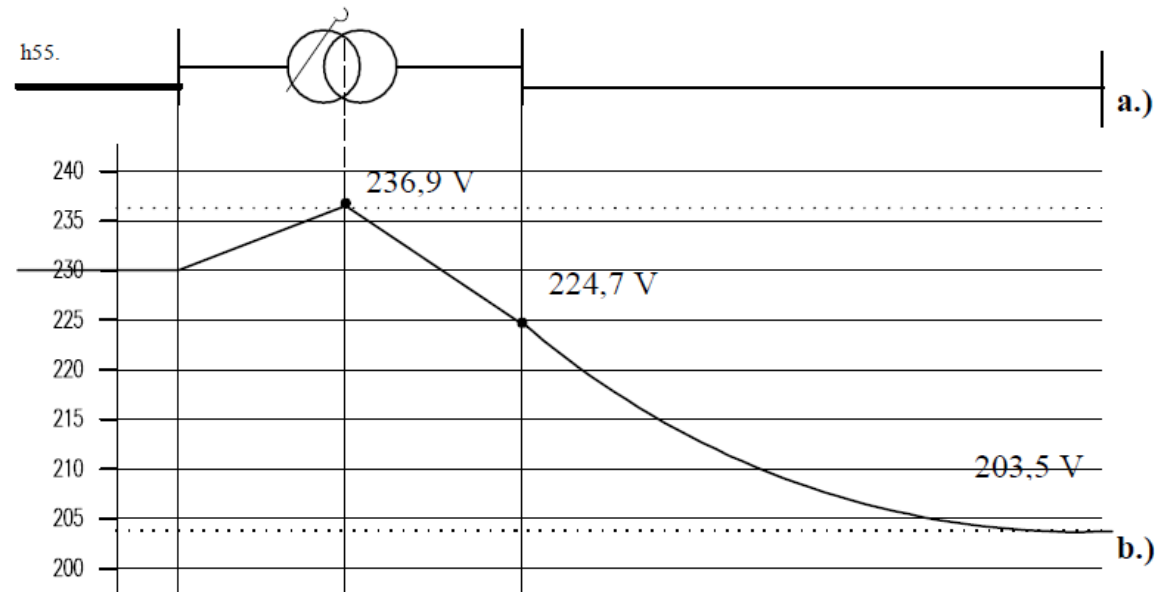
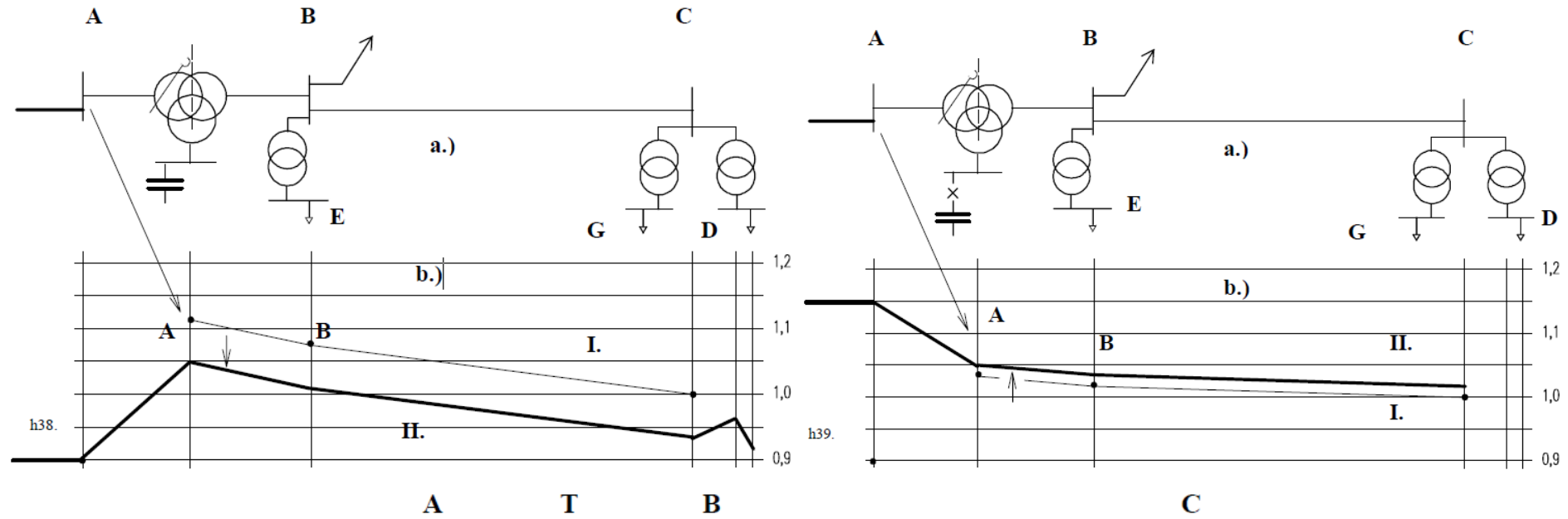
C (kapacitás)

R (ellenállás)



A villamos hálózatok jellemzője, hogy koncentrált elemekkel lehet modellezni. A vezetékrendszerek induktivitása reprezentálja azt, hogy egy váltakozó áramú körben a mágneses teret fel és le kell „építeni”. Ez egy fajta tehetetlenség, amely a feszültség (nyomás) és az áram (tömegáram) közötti fázis eltérést okoz. A reaktív energia (meddő energia) mértékét a fázis eltérésből lehet levezetni.

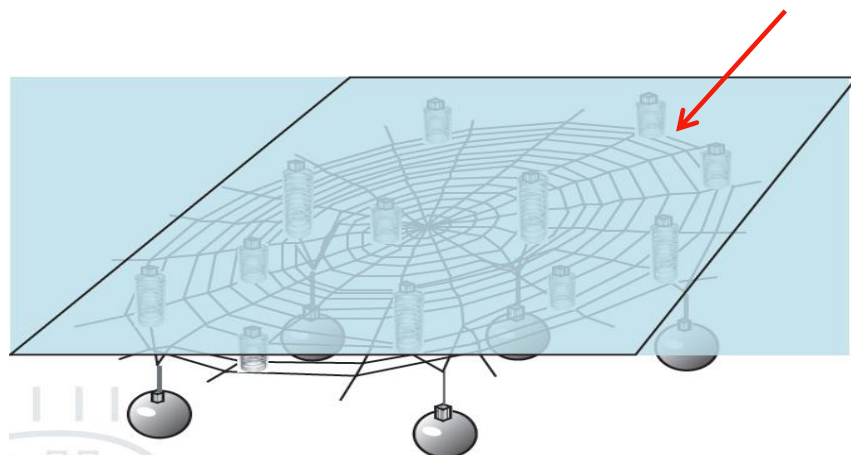
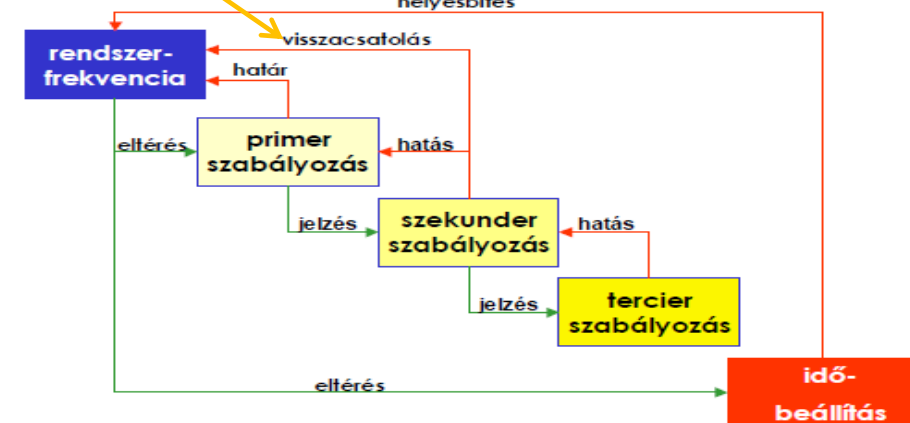
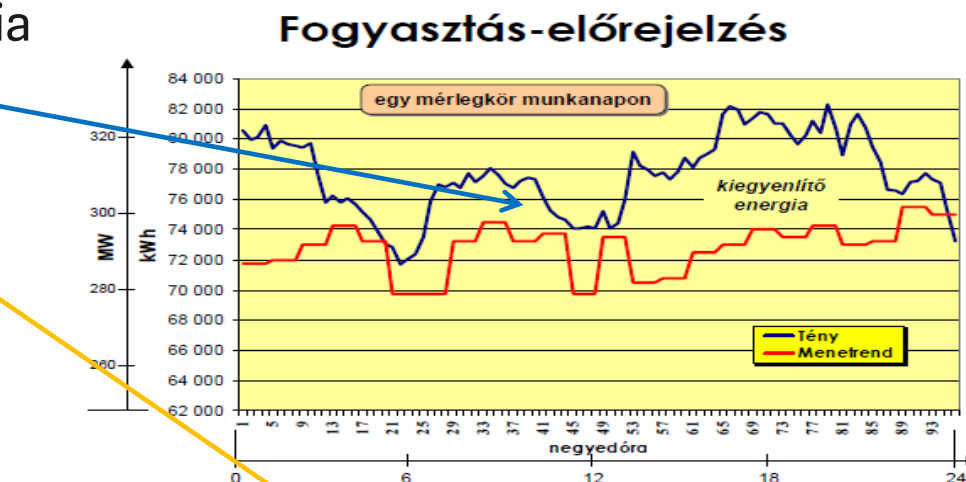
Feszültszabályozás- Hagyományos NAF, KÖF, KIF



Flexibilitás, mint fogalom - Lokális vs. Globális

- Fogyasztói terhelés bevonás (DSM)- aktív energia
- E-mobilitás (töltés/tárolás) –aktív energia
- Megújulók szabályozása –aktív energia
- Tárolás –aktív energia (reaktív is lehet)
- Megújulók szabályozása –reaktív energia
- DSO reaktív energia szabályozás-reaktív energia
- Új feszültség szabályozó technológiák

A reaktív energiával lehet szabályozni a rendszer feszültségviszonyait, amelyet –ellentétben a frekvenciaszabályozás alapját adó aktív energiával- lokálisan is kell biztosítani. A rugók reprezentálják a reaktív energiát, míg a súlyok a feszültség változást előidéző hatásokat, mint terhelések/betáplálások/hálózati változások.



A hálózat működési jellemzőit leíró paraméterek (f , U , és I) megváltozását érzékelni és/vagy kezelni képes eljárások vagy eszközök, melyek képesek ezen paramétereket a megkívánt határok között tartani.

Smart Grid megközelítés- Különböző definíciók

Smart Grid definíció, ERGEG

Noha az intelligens elemek a meglévő hálózatok sok részén már léteznek, a mai hálózat és a jövő intelligens hálózata közötti különbség elsősorban a hálózat azon képességét jelenti, hogy hatékonyabban és eredményesebben tudja kezelni a megnövekedett komplexitást. Ez a megnövekedett bonyolultság többek között az alábbiak miatt alakul ki:

Az elosztott termelés tömeges megjelenése LV és MV szinten, ideértve az engedélykérelmek hatékony kezelésének szükségességét. Terhelési központoktól messze fekvő megújuló parkok megjelenése. Az ügyfelek viselkedésének változásai (pld. aktív keresleti oldal bevonás-> DSM). A veszteségek csökkentése (például megfelelő elosztott termeléssel, amely a nagy fogyasztású területek közelében található). Az öngyógyító technológiák fokozott használata.

Smart Grid definíció EON (válasz ERGEG-re)

„olyan (elosztó) hálózat, amelyet tovább fejlesztettek kiegészítő kommunikációs és információs technológiával, hogy kontrollálni tudja az egyre bonyolultabb termelési és fogyasztási mintázatokat; hogy megfelelően rugalmas terhelés menedzsmentet tudjon szolgáltatni annak érdekében, hogy minden ügyfél és elosztott termelés a hálózathoz tudjon kapcsolódni, és piacképes legyen.

A SYSTEMS VIEW OF THE MODERN GRID(National Energy Technology Laboratory-USA): A modern hálózat rendszerszempon্তু megközelítésében az alábbi elemeket (funkció csoportokat) tartalmazza:

-> Öngyógyító hálózat; Ügyfél bevonása; Fejlett szolgáltatás minőség (21. század); Elosztott energia, tárolás fogadása; Piaci aktív kapcsolat; Hatékony eszköz menedzsment.

EPRI (Electric Power Research Institute-Usa) tanulmány (Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid):

Az „intelligens hálózat” kifejezés az elektromos energia rendszer korszerűsítésére utal, amely monitorozza, végi és automatikusan optimalizálja az egymással összekapcsolt elemeket, részrendszereket: a központi és elosztott termelőktől a nagyfeszültségű átviteli hálózaton és az elosztórendszeren keresztül, az ipari felhasználókat és az épület automatizálási rendszereiket, az energiatároló berendezéseket, valamint a végfelhasználó fogyasztókat (pld. termosztátok), elektromos járművek töltését, készülékeket, és egyéb háztartási eszközöket.

***Elosztóhálózat
kihívásai-
Grid4Speed***

2

Szektorális körülmények

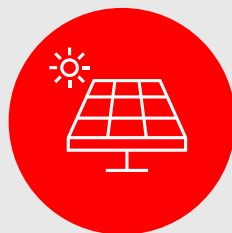
Az időjárásfüggő termelők terjedése és a fogyasztási szokások átalakulása komoly kihívások elé állította a DSO-kat



Termelési szerkezet:

IDŐJÁRÁSFÜGGŐ TÚLSÚLY

- **Magas egyidejűség**, rosszul tervezhető, korlátoosan szabályozható, kevesebb forgó tömeg.
- Relatív egyszerű technológia, alacsony határköltség.



Lokáció:

DECENTRALIZÁLT

- Elosztott termelési struktúra a centralizált helyett, új termelői kapacitások közép- és kisfeszültségen.
- **Kis méret, nagy számosság**



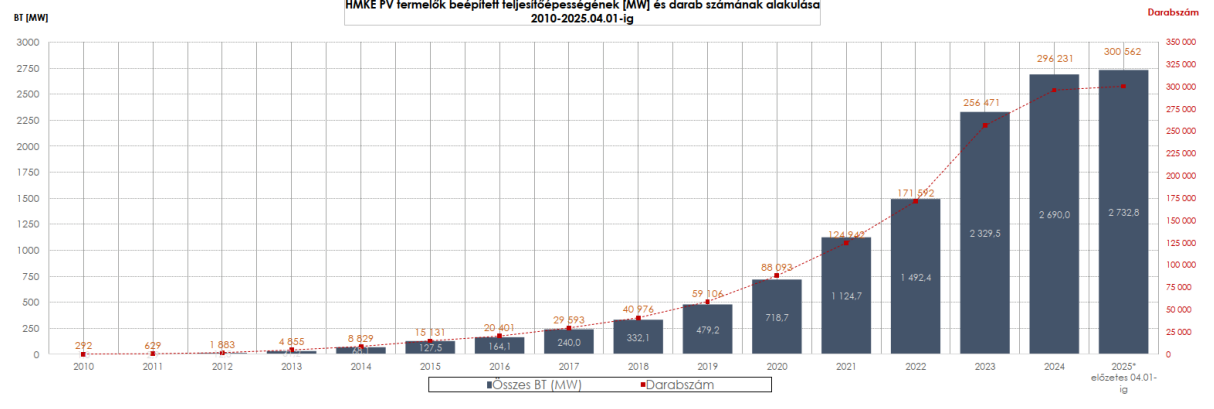
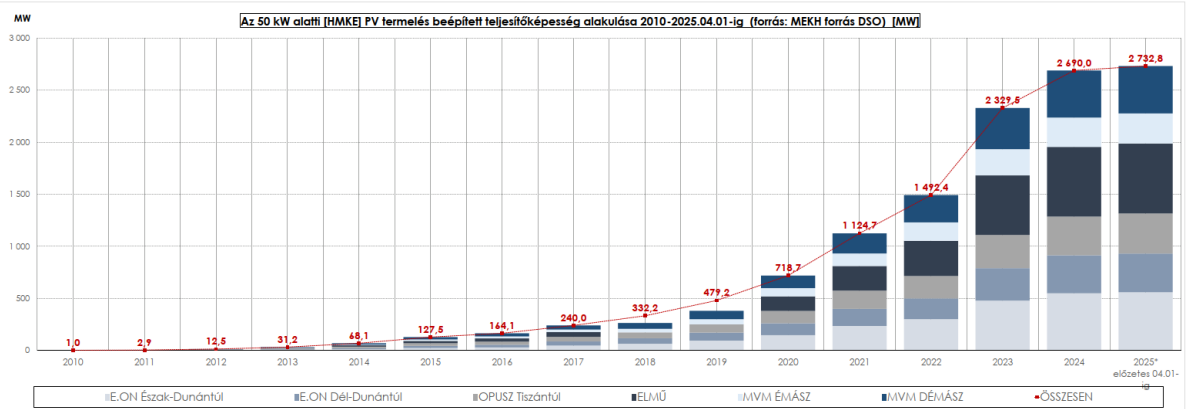
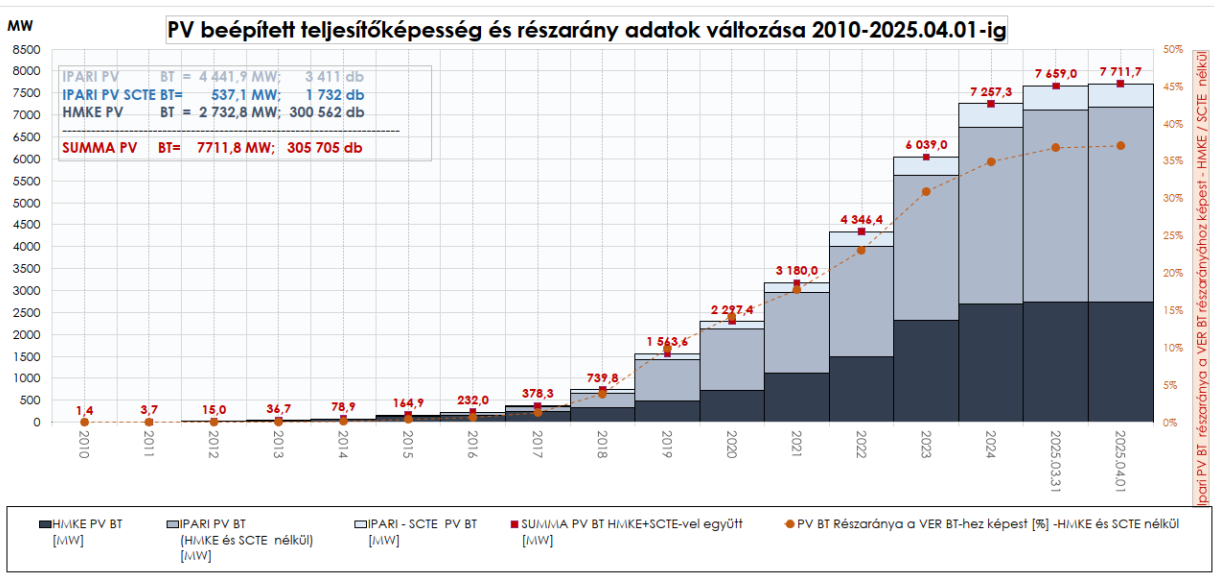
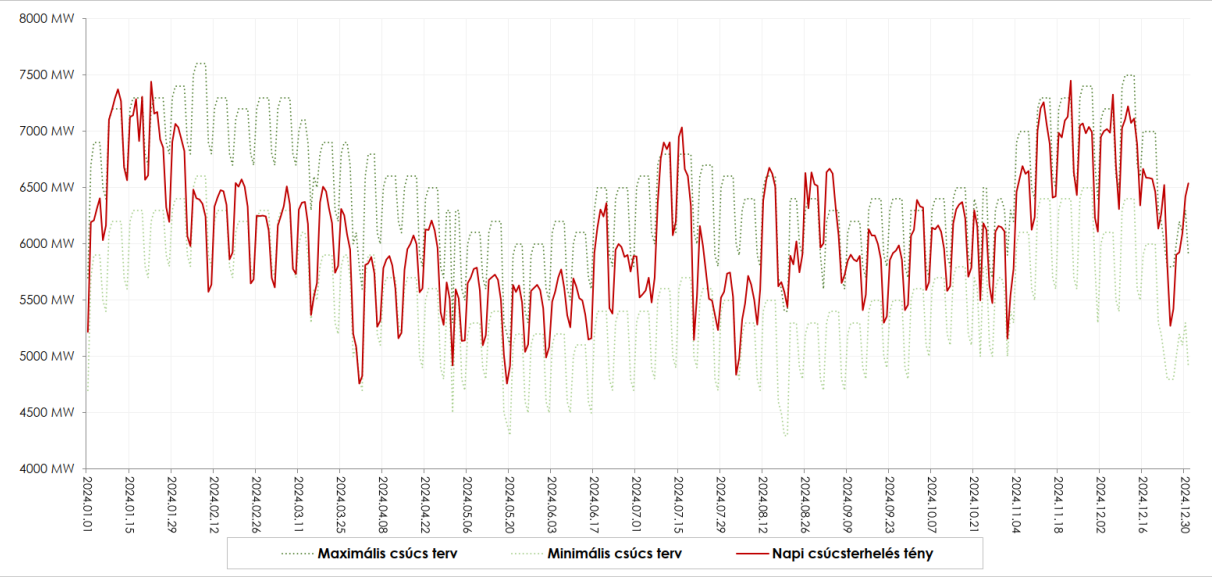
Fogyasztás:

NÖVEKEDÉS

- Elektrifikáció (elektromobilitás, épületek, ipar)
- **Egyidejűségük** magasabb, mint az elmúlt évtizedek fogyasztási mintázatai

Statisztikák- Trendek (MAVIR adatok)

1. Várható, illetve tény bruttó rendszerterhelés – 2024



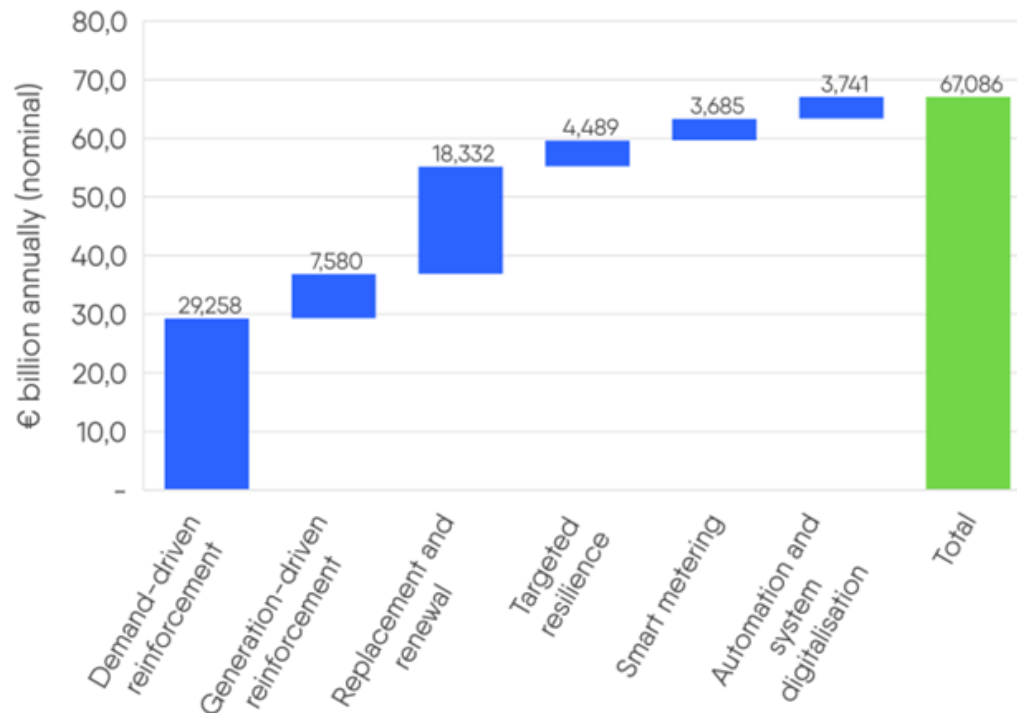
Beruházási szükségletek

Éves beruházások becslése: 67 milliárd euró 2050-ig

Beruházások megduplázódása: 36 milliárd euróról 2040-ig

Beruházás növekedése: A jelenlegi szint 1,7-szeresére 2050-ig

Annual average grid investment in the EU27+Norway (2025–50)



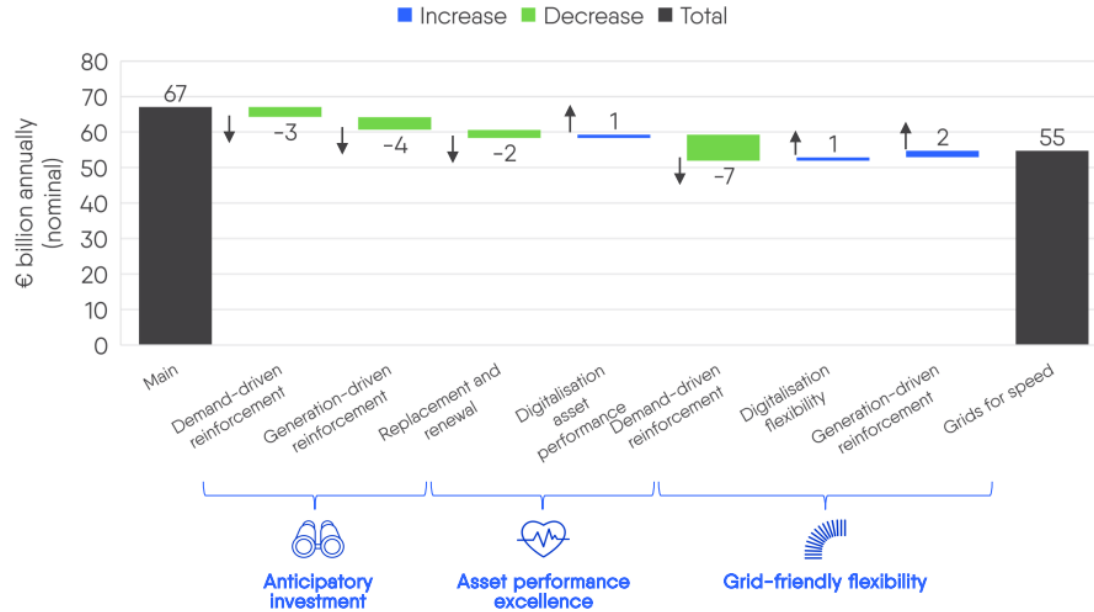
Hungary



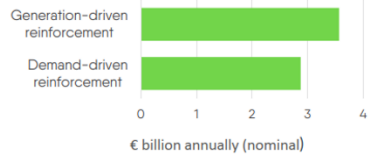
Az Imperial College London által támogatott tanulmány Magyarország esetében kb. 775 millió EUR beruházási igényt prognosztizál évente a DSO hálózataira, ez mai árfolyamon kb. 314 milliárd Ft / év.

Költségcsökkentési lehetőségek

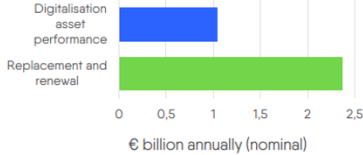
The impact of emerging investment strategies on distribution grid investment (2025–2050)



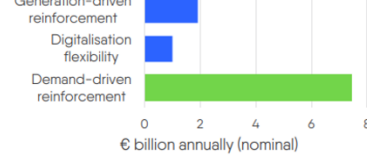
Anticipatory investment



Asset performance excellence



Grid-friendly flexibility



Legend: ■ Benefit (green), ■ Cost (blue)

Módszerek

Anticipatory investment

Kapacitás növelése kis költségnövekedéssel, további kapacitás biztosítása jövőbeli projektekhez.

Nettó 7%-os csökkenés

Asset performance excellence:

Eszközök teljesítményének optimalizálása adatok, elemzések és mesterséges intelligencia segítségével, „just-in-time” eszközcserek.

Nettó 1%-os csökkenés

Grid-friendly flexibility:

Kereslet dinamikus optimalizálása, hálózat megerősítésének elhalasztása.

Nettó 4%-os csökkenés

Kiegészítő információk



Országos beruházások és hajtóerő

Czechia



Germany



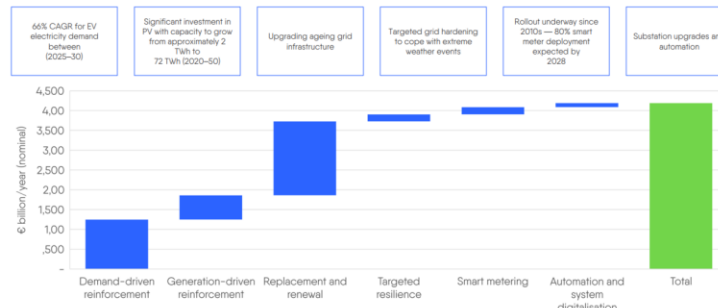
Hungary



Hungary



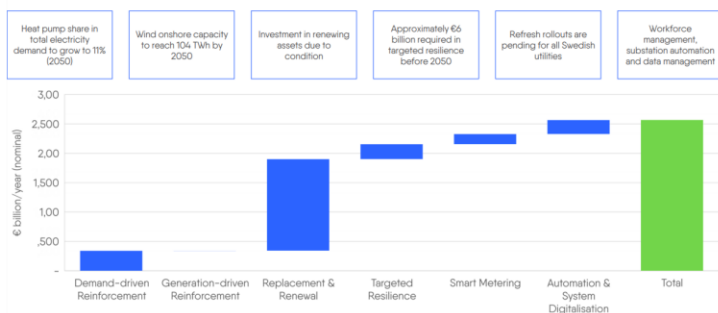
Poland



Romania



Sweden



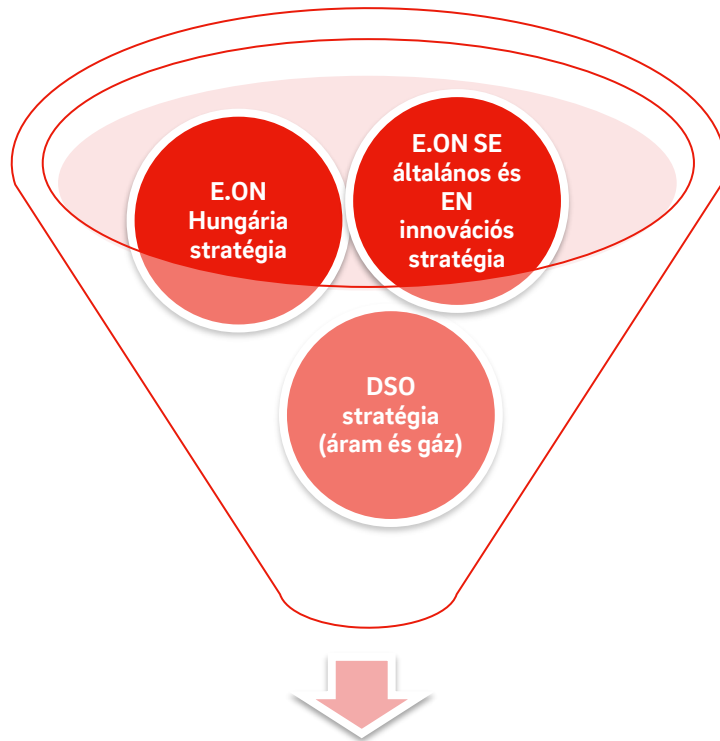
Németország esetében a keresleti mozgatóerő kiemelkedő, míg Svédország esetében a csere. Románia és Lengyelország esetében a két kiemelkedő költségtényező a kereslet és a csere. A cseh adat meglehetősen kiegyensúlyozott eloszlást mutat, míg Magyarország esetében a keresleti mozgatóerő erős, bár ez az elektromos járművek töltésére vezethető vissza.

***Kihívásra adható
válaszok egyike-
Új Innovatív
irányok***

3

Iparági stratégiai trendek elemzése

e.on



3 INPUT

Versenytársak

Vállalati
stratégiák

Szakmai
konferenciák



Adatalapú döntések, digitalizáció

Eszközmenedzsment

Energiaátmenet

Környezettudatosság

Ügyfélkapcsolatok, ügyfélmegoldások

Vállalati kultúra és humánmenedzsment

E-mobilitás

Megújuló alapú energiatermelés

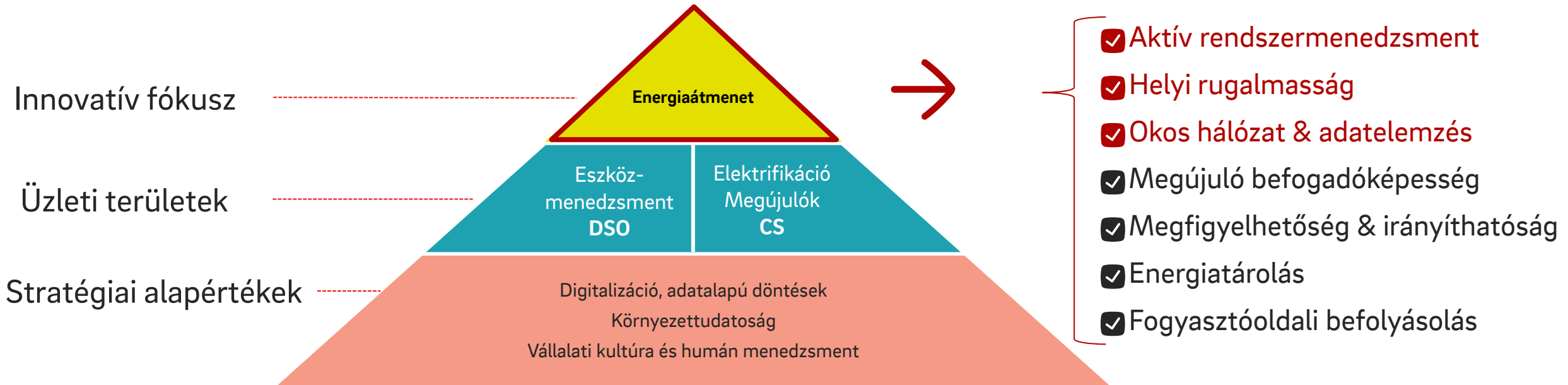
Egyetemi, kutatói partnerségek, start-up

TOP3

E.ON +
prioritás



Fókuszálás a stratégiákból – innovációs célkitűzés



A hálózati innováció feladata azon új tevékenységek felkutatása, kísérleti alkalmazása és kiterjesztésének előkészítése, melyekkel az elosztóhálózatok hatékonyan tudnak működni az energiaipari átalakulás folyamatában.



Költségek optimalizálása



Átfutási idők csökkentése



Villamosenergia-minőségben javítás



Adaptív

Alternatívát/fejlesztési irányt mutatunk a hagyományos beruházásokra/folyamatokra új technológiák segítségével.

Célkitűzések:

- Feszültségszabályozási rendszer – önálló készülékek rendszerbe illesztése KÖF tápponttól a KIF végpontig
- Terhelésmenedzsment: energiatárolók, beavatkozók, üzemirányítást támogató funkciók
- Megfigyelhetőség, Asset management, felhő alapú adatfeldolgozás – kockázat alapú működés

Eredmények:

- KIF vonali szabályozás (KIF IVR)
- OLTC transzformátor (OLTC)
- KÖF és KIF energiatárolás (IElectrix)
- Dinamikus alállomási fűtésvezérlés (DFV)
- Szimmetrizátor
- Okos közvilágítás

Lehetőségek:

- Statikus kompenzátor (STATCOM)
- KÖF vonali szabályozás (KÖF IVR)
- PLEXOR
- SSB-DB – LDS szekrények



Rugalmas

Olyan eszközök szabályozása és vezérlése, melyek nem DSO tulajdonban állnak.

Célkitűzések:

- Piaci alapú rugalmassági szolgáltatások fejlesztése
- E-mobilitás, hőszivattyúk, épületoldali energiamenedzsment, fogyasztóoldali rugalmasság kiaknázása
- Dinamikus tarifák kialakításában közreműködés
- Energiaközösségi programokban képviseljük a hálózat érdekeit, elősegítve a közösségek kialakítását
- Megújuló erőművek és versenypiaci tárolók szabályozási képességeinek kihasználása

Eredmények:

- Rugalmassági termékek & platform (FLEX.ON)
- Rugalmasság keretrendszere (ONENET)
- Lokális piac demonstráció (INTERFACE)
- PV szabályozás
- IELECTRIX DSR rendszer

Lehetőségek:

- E-mobilitás és épületek rugalmassága (HORIZON)
- Energiaközösségek (HORIZON)



Digitális

A digitális technológiákkal optimalizáljuk az elosztóhálózat irányítását, tervezését, felügyeletét, és elősegítjük a további pillérek hatékonyságát.

Célkitűzések:

- Hálózati okos és digitális eszközök elérhetőségének bővítése
- Adataalapú elemzésekre alapozott hálózati beavatkozások végrehajtása, előrejelzése
- Mesterséges intelligencia hálózati célú alkalmazásának tesztelése

Eredmények:

- Grid Planning Tool (GPT)
- Állapotbecslés (Lendület)
- Energiatároló vezérlő rendszer (EMS)
- Energiamenedzsment-keretrendszer és algoritmus fejlesztés (EMKE)

Lehetőségek:

- Innovatív eszközök és megoldások fejlesztésére és tesztelésére alkalmas környezet kialakítása
- SMART nyomásszabályzó tesztelése és vezérlő algoritmus fejlesztése
- Neurális hálózat alapú hardvermentes megfigyelhetőség
- Adatok alapján történő meghibásodások előrejelzése

Projektportfólió

4

LDS szekrény

Hurkolt hálózat létrehozását kialakító szekrény

Közvilágítási hálózat okosítása

Okos közvilágítás

MATESZ

Elosztói energiatároló konténerek telepítése és vezérlőrendszer fejlesztés

HMKE inverterek bevonása a feszültségproblémák mérséklésébe

DAPPoD

KöF IVR

Középfeszültségen alkalmazható soros feszültségszabályozó

Kisfeszültségen alkalmazható soros feszültségszabályozó

KIF IVR

OLTC

Terhelés alatti fokozatkapcsolós transzformátor

Szimmetrizátor

KIF hálózati asszimetriát csökkentő eszköz

Flex.On

Elosztói rugalmassági platform

DFV

Szekrény és tok sor fűtésének fejlesztett vezérlése

Smart trafó mérés

KÖF/KIF transzformátor mérőrendszer

Feszültségproblémák

Energiahatékonyság

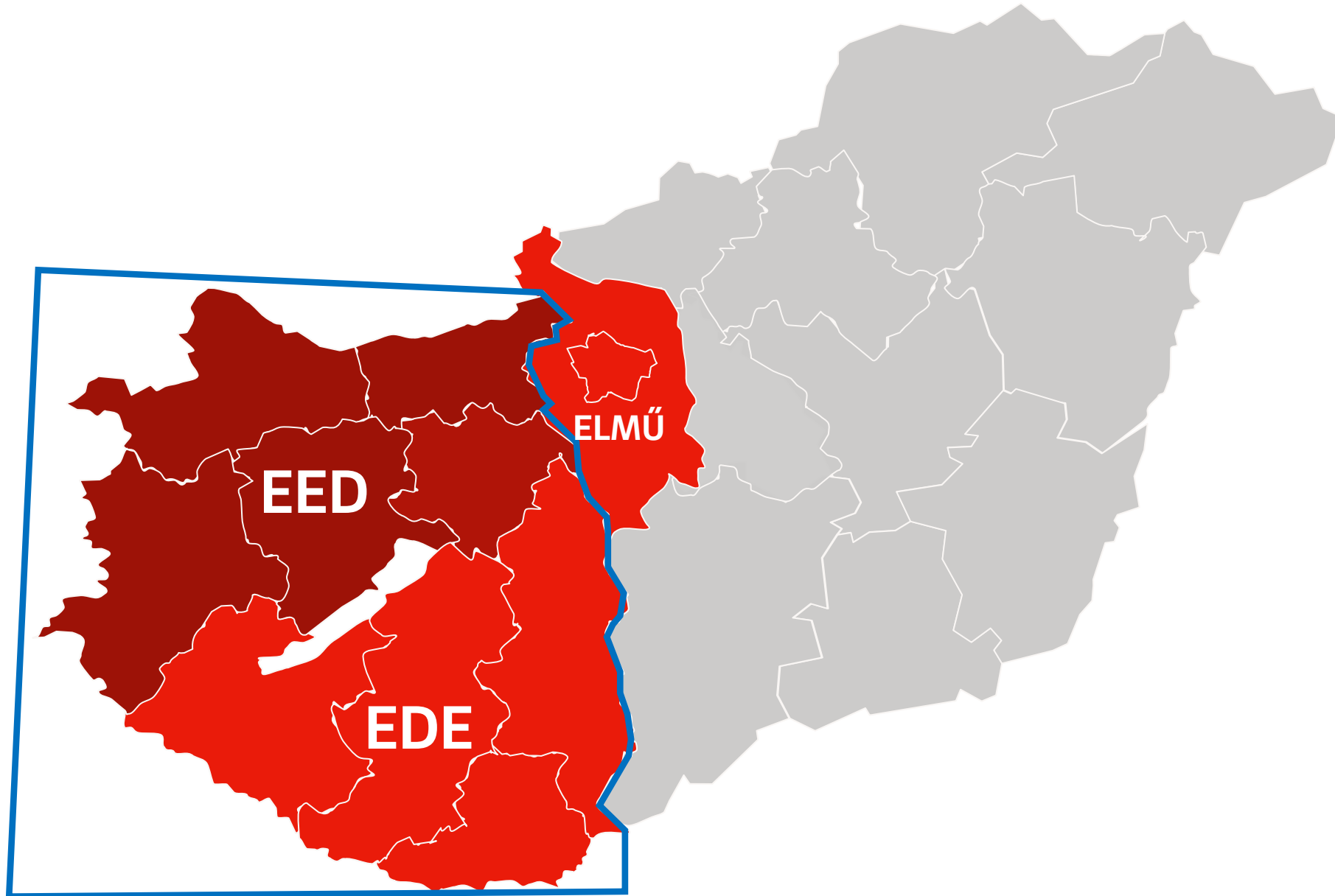
Terhelésmenedzsment

Megfigyelhetőség

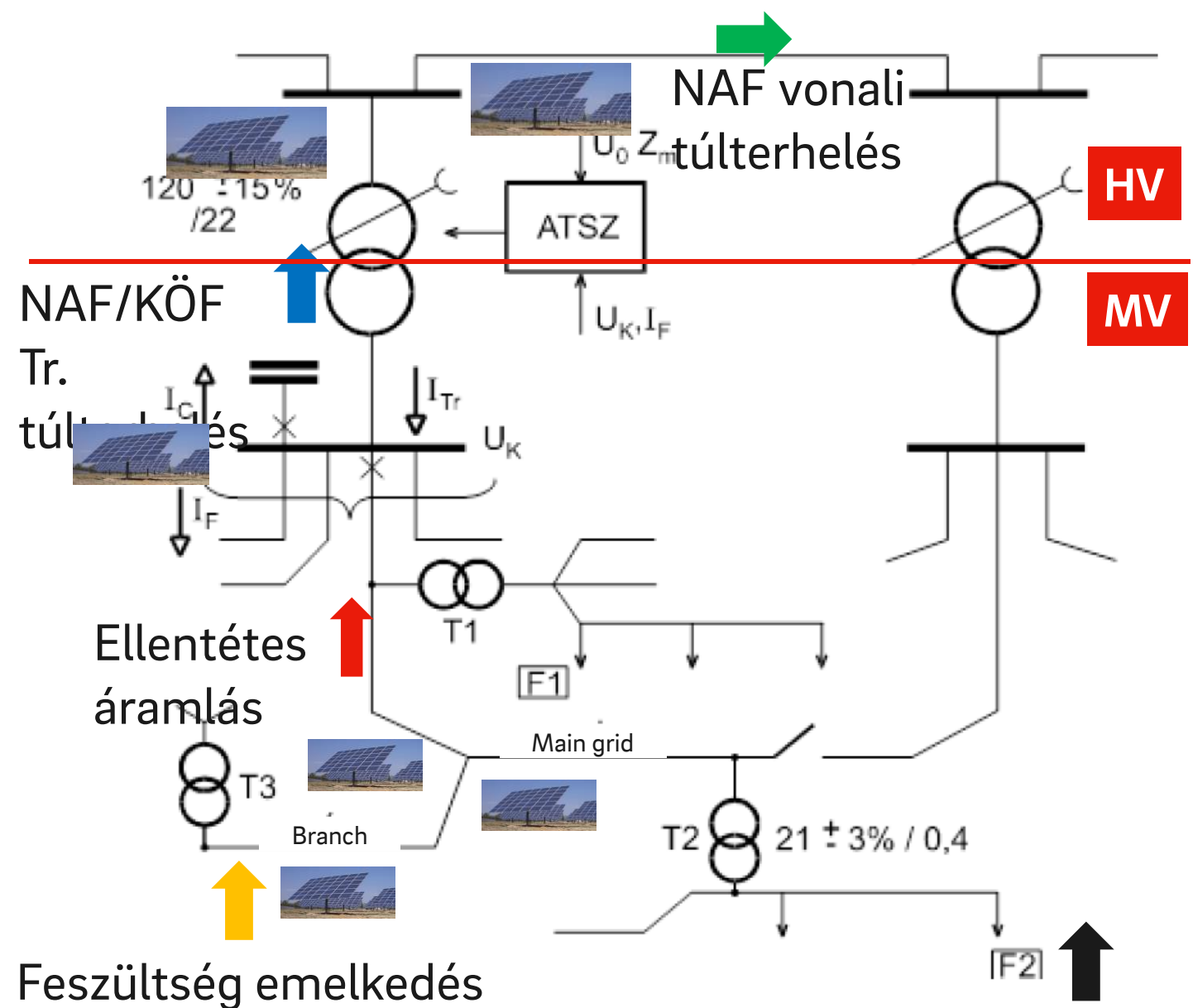
Flex.On

Elosztói rugalmassági platform

Alkalmazási terület jelenleg – Dunántúl (EED/EDE)



Az elosztott megújuló termelés okozta problémák



Probléma típus	Jel	Leírás
Feszültség emelkedés	 	Korábban (2016-2020) a PV erőművek tipikus mérete ~ 0,5-2MW, KÖF vezetékhez csatlakozva. Több esetben is feszültségnövekedés. KIF-en elsődleges probléma.
Ellentétes áramlás		2020-tól a leggyakoribb probléma a fordított áramlás (a PV számosság, összteljesítmény miatt)
NAF/KÖF Tr. túlterhelés		A fordított áramlás és a KÖF gyűjtősin csatlakozás (nagyobb teljesítmény mellett). Atráfó túlterhelés gyakori probléma.
NAF vonali túlterhelés		Az új piaci mechanizmus megváltoztatja a csatlakozási viselkedést: x * 10MW csatlakozás

Flex.on Use Cases #XY | 4 sample use cases

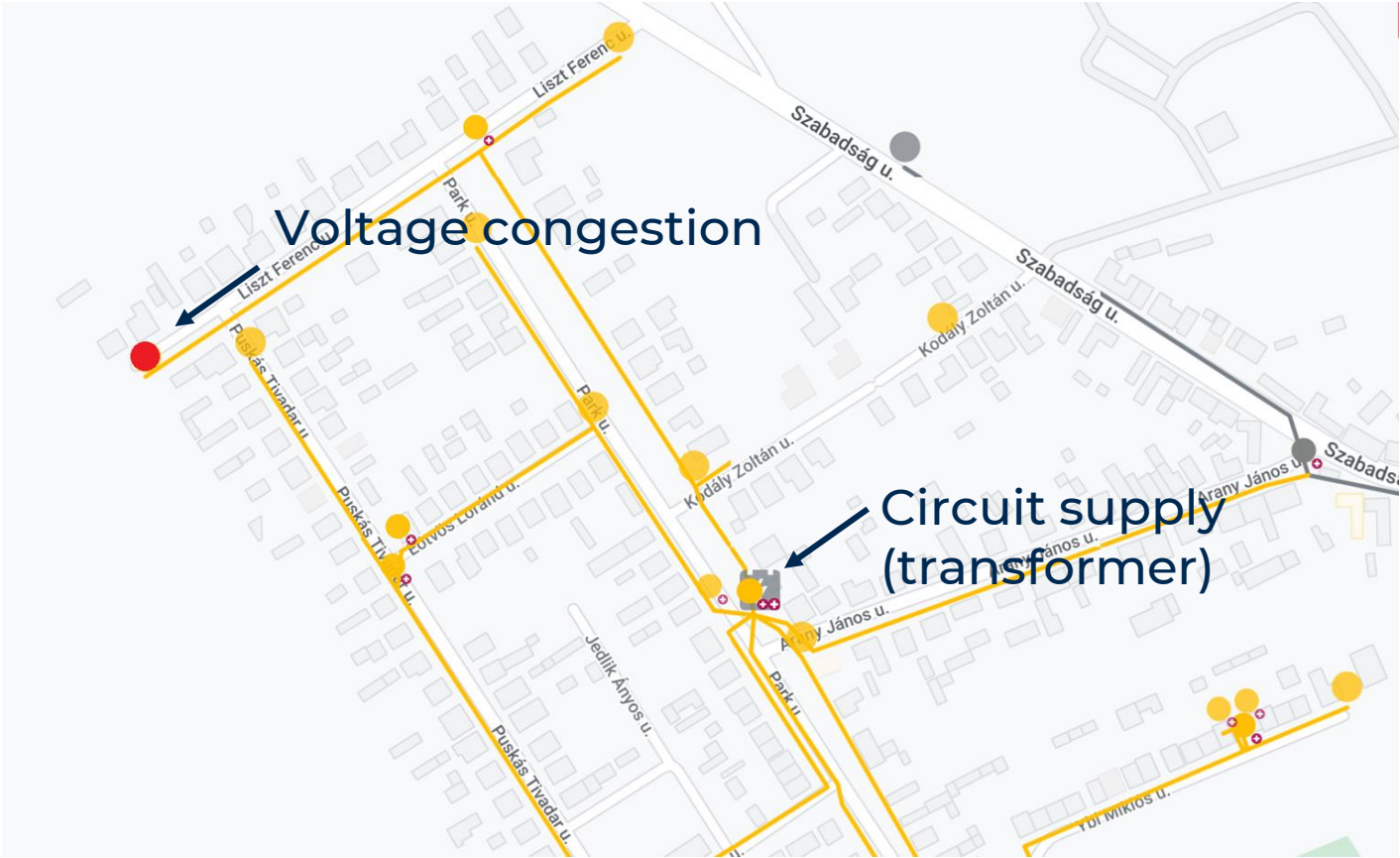
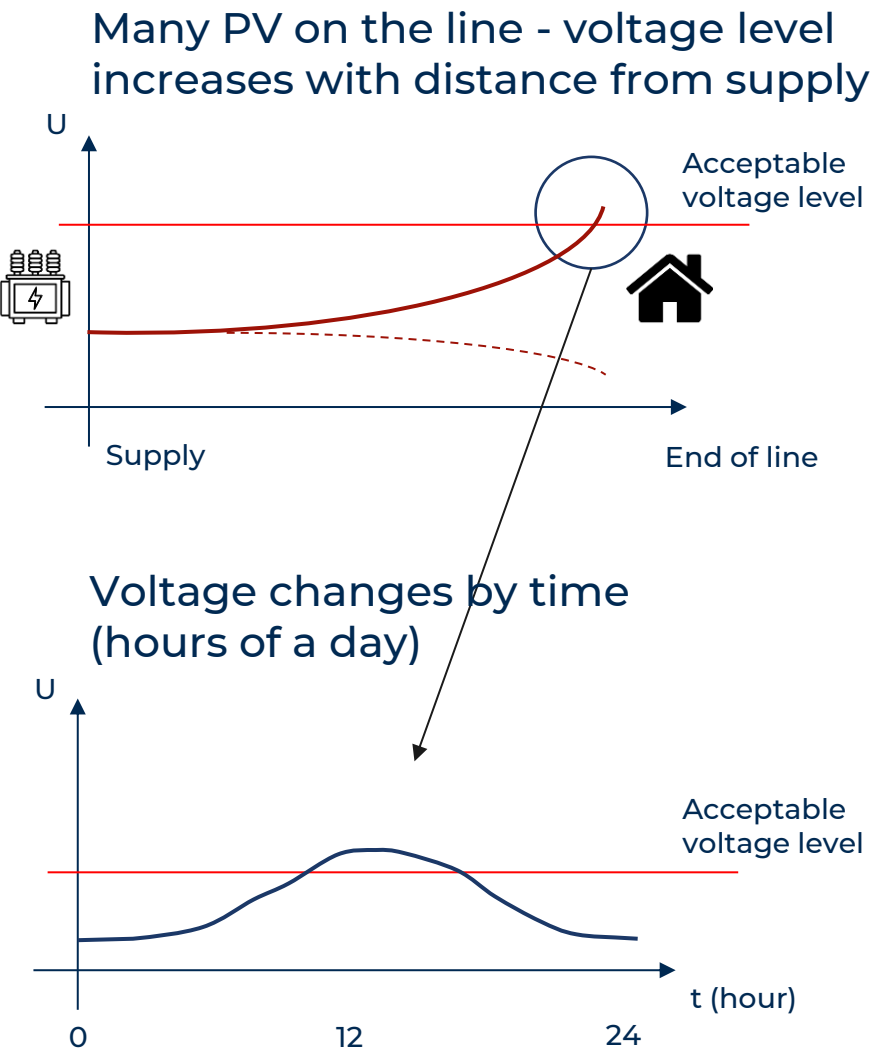
Use case #1: overvoltage on LV network

Use case #2: overvoltage on MV network

Use case #3: HV-MV transformer overload by reverse flow

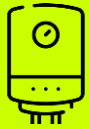
Use case #4: HV conductor overload by production flow

Use Case #1 | Overvoltage on LV level



Use Case #1 | LV level intervention

Assets



Residential DSR
(e.g. boiler)

Increase consumption



Energy storage

Increase consumption

Decrease production



PV

Decrease production



Heat pump

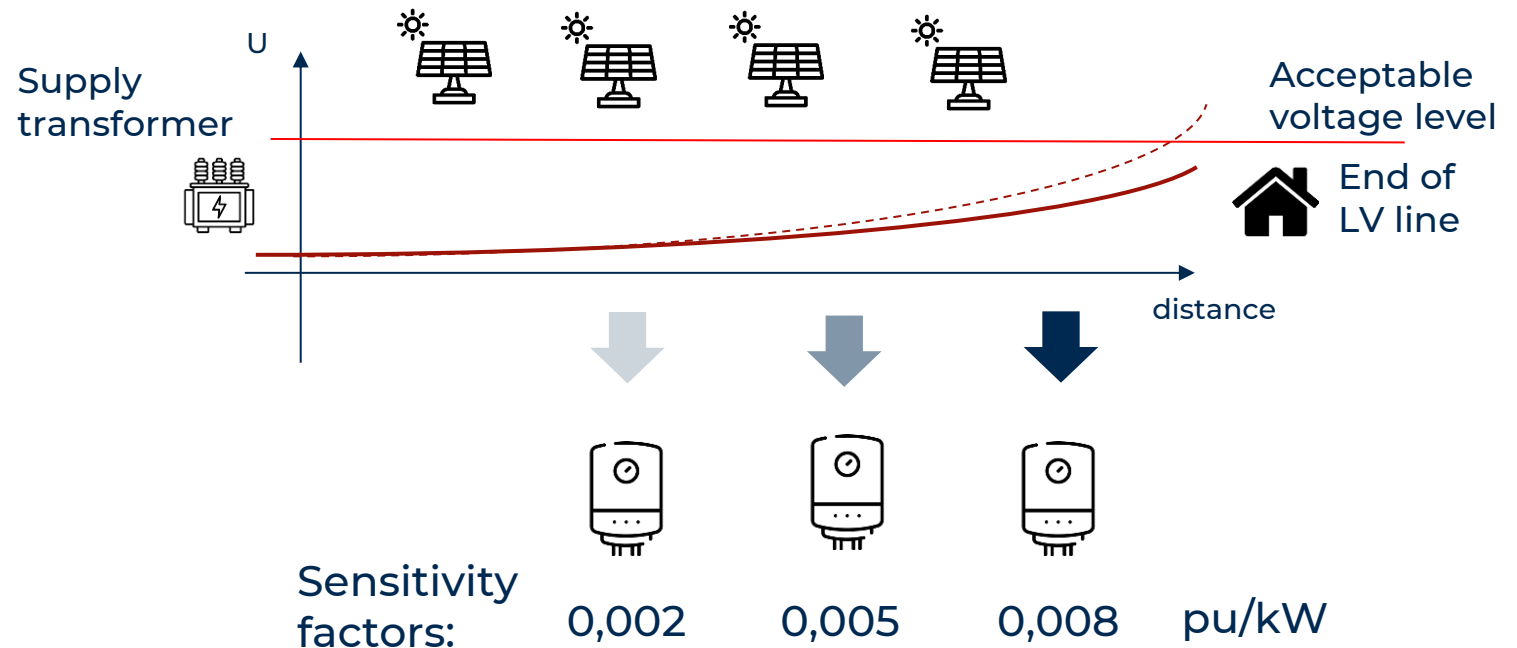
Increase consumption



EV charger

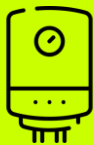
Increase consumption

Many PV on the line - voltage level increases with distance from supply (transformer)



Use Case #1/B | LV level: voltage decrease

Assets



Residential DSR (boiler)

Decrease consumption



Energy storage

Increase production

Decrease consumption



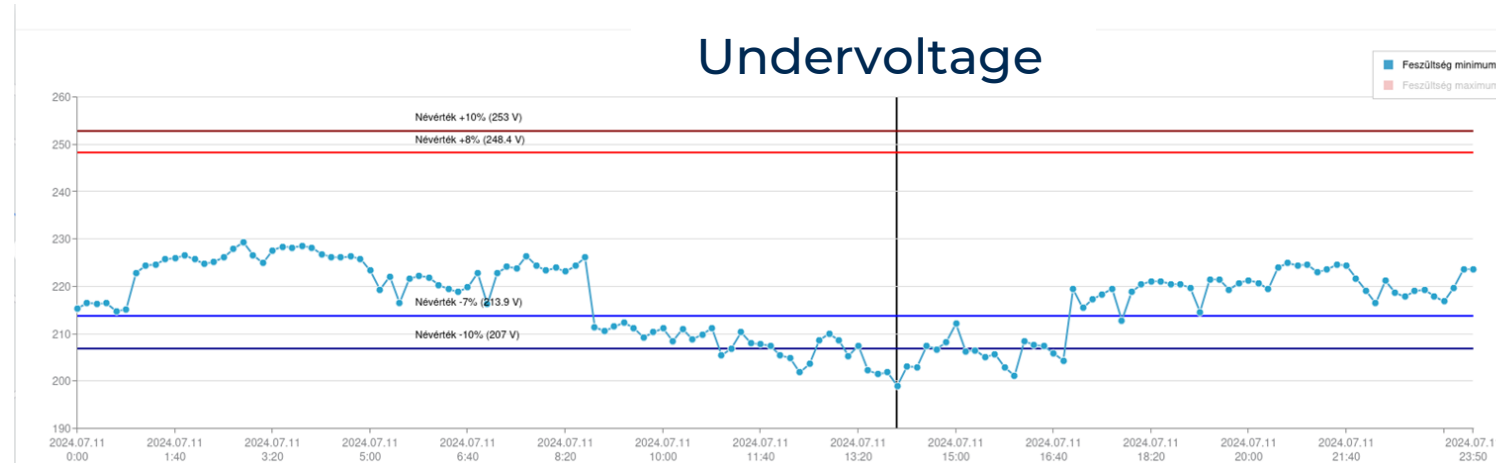
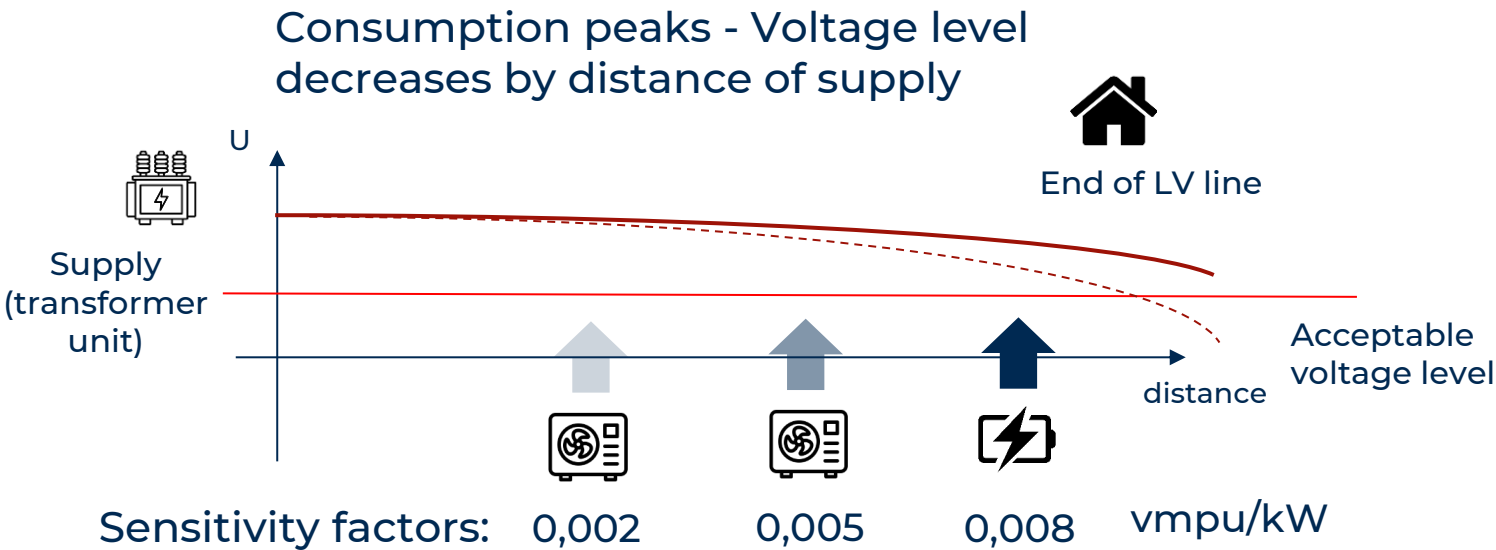
Heatpump

Decrease consumption



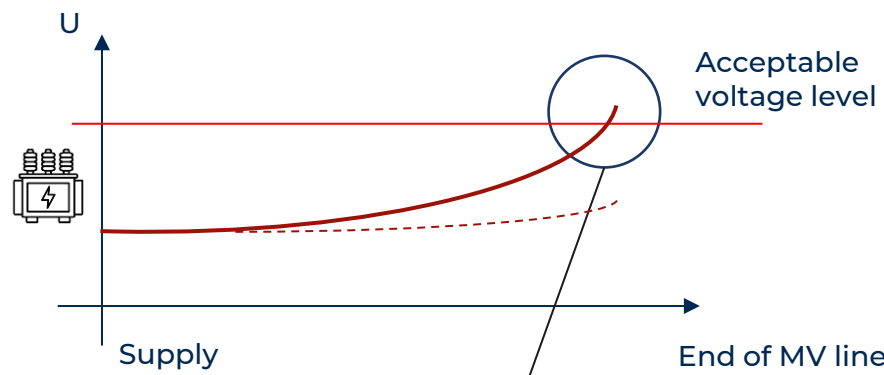
EV charger

Decrease consumption

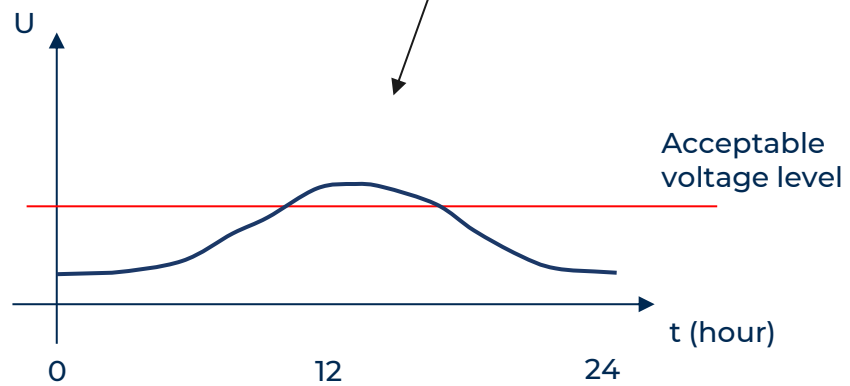


Use Case #2 | Overvoltage on MV network

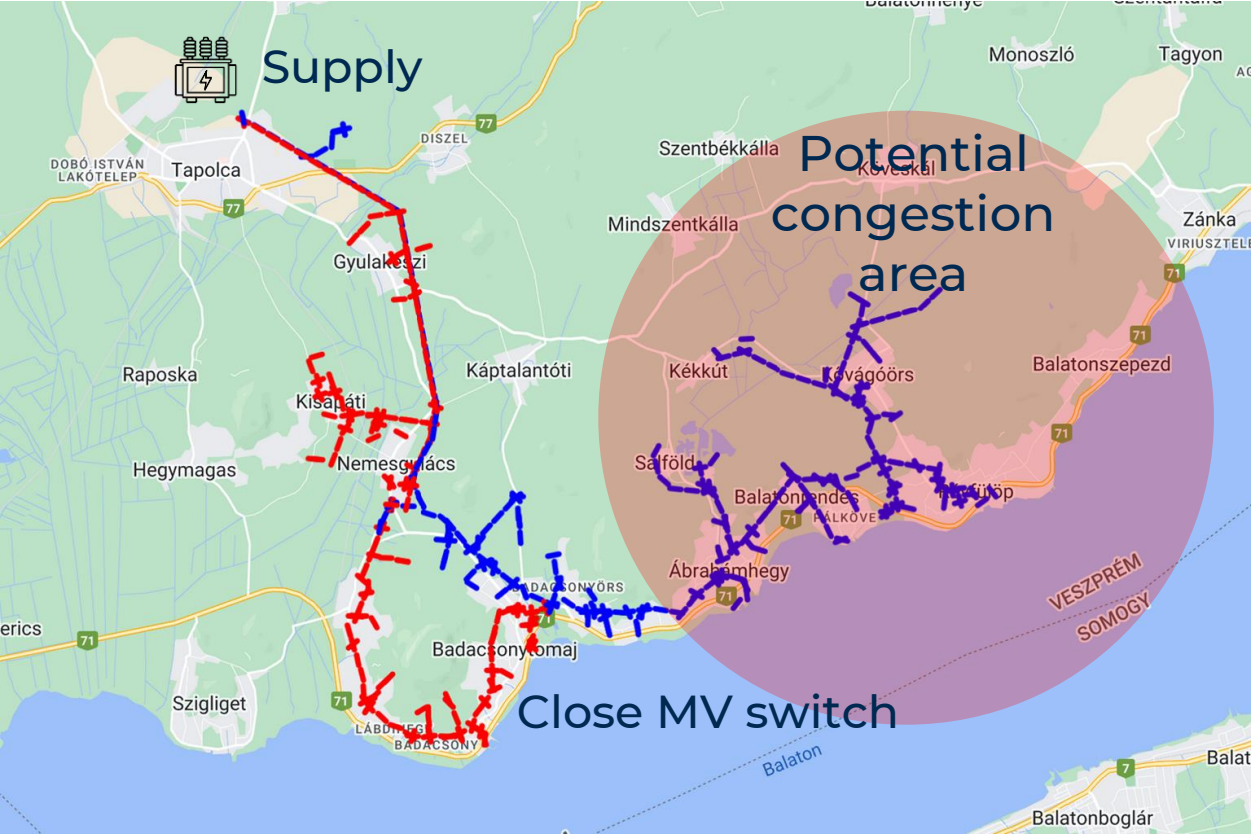
Voltage level increases with distance from supply



Voltage change by time on a specific network element



Long MV line due to change of supply (overswitching)



Use Case #2 | Intervention on MV level



PV

Decrease production



Fossil power plants

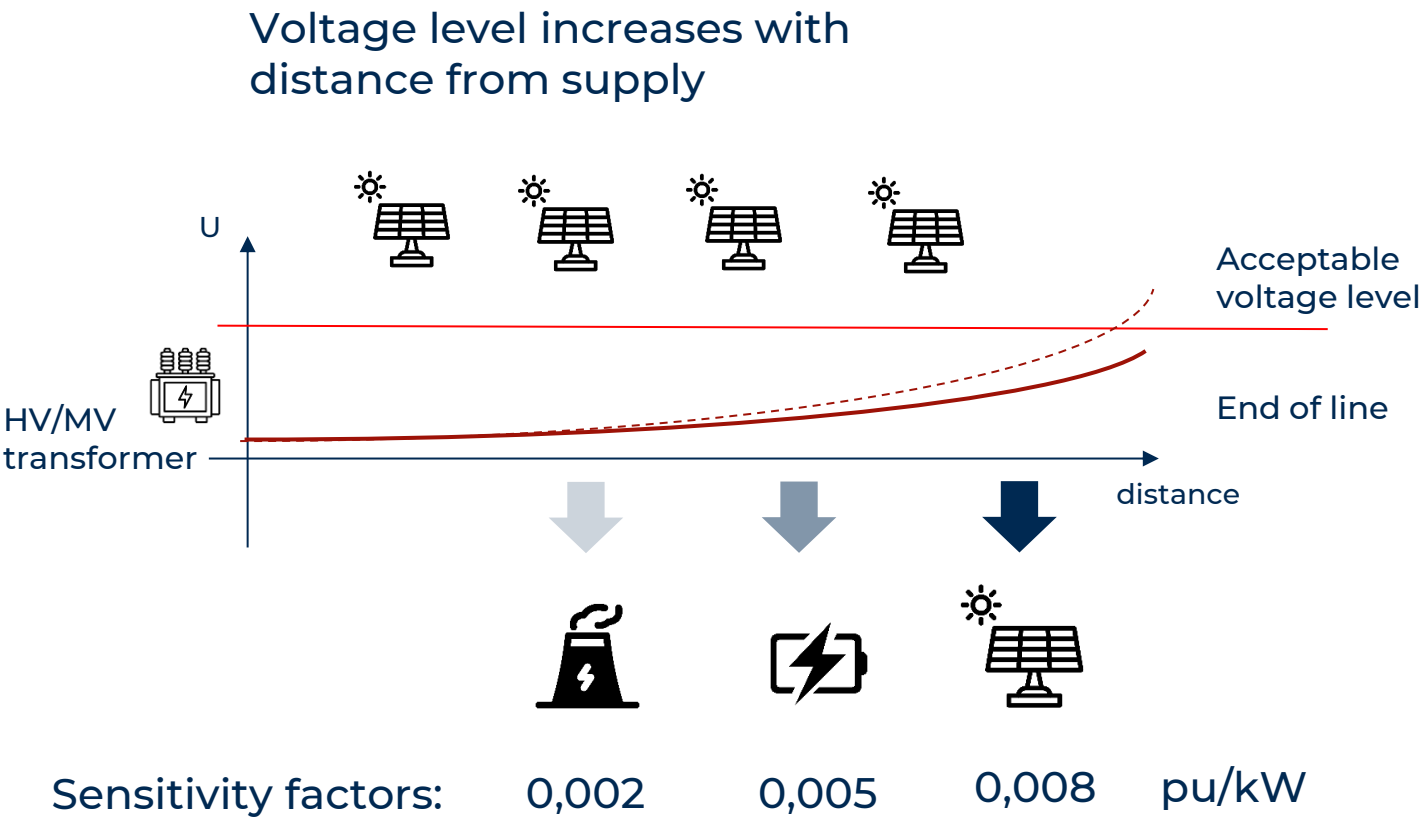
Decrease production



Storage

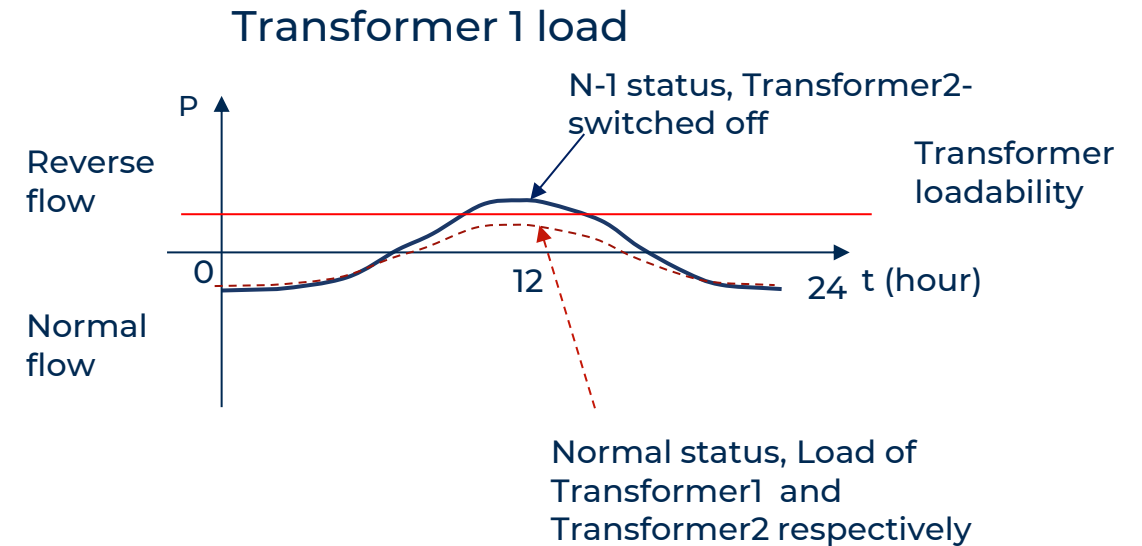
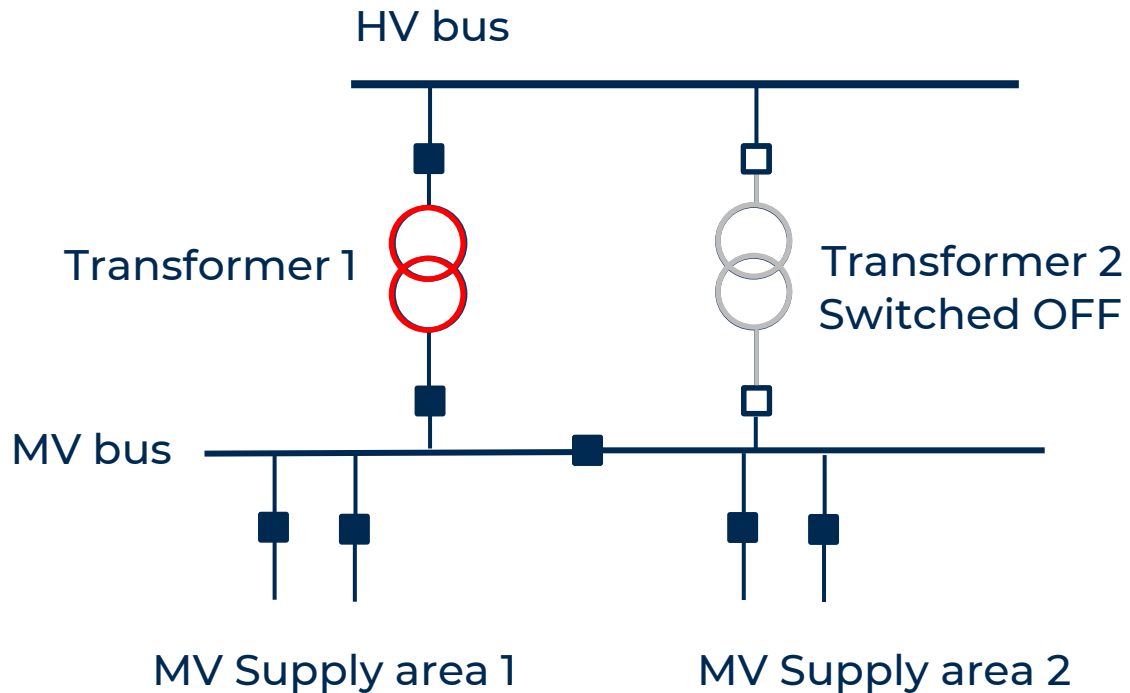
Increase consumption

Decrease production



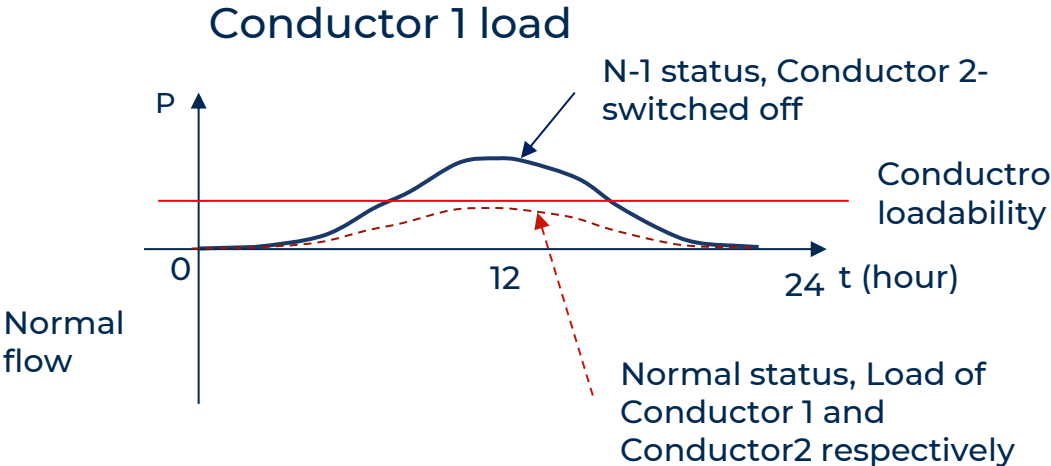
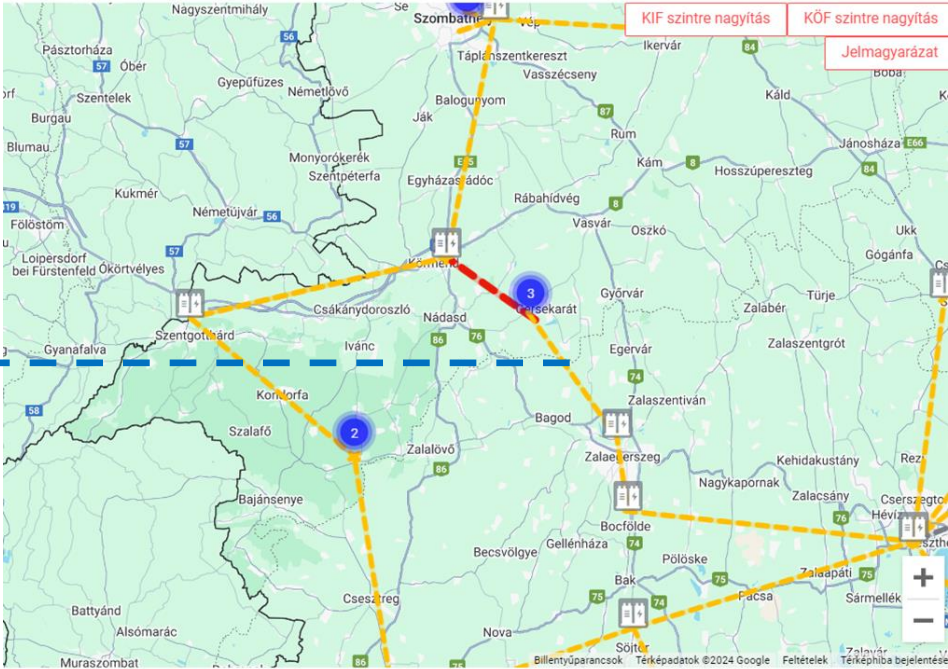
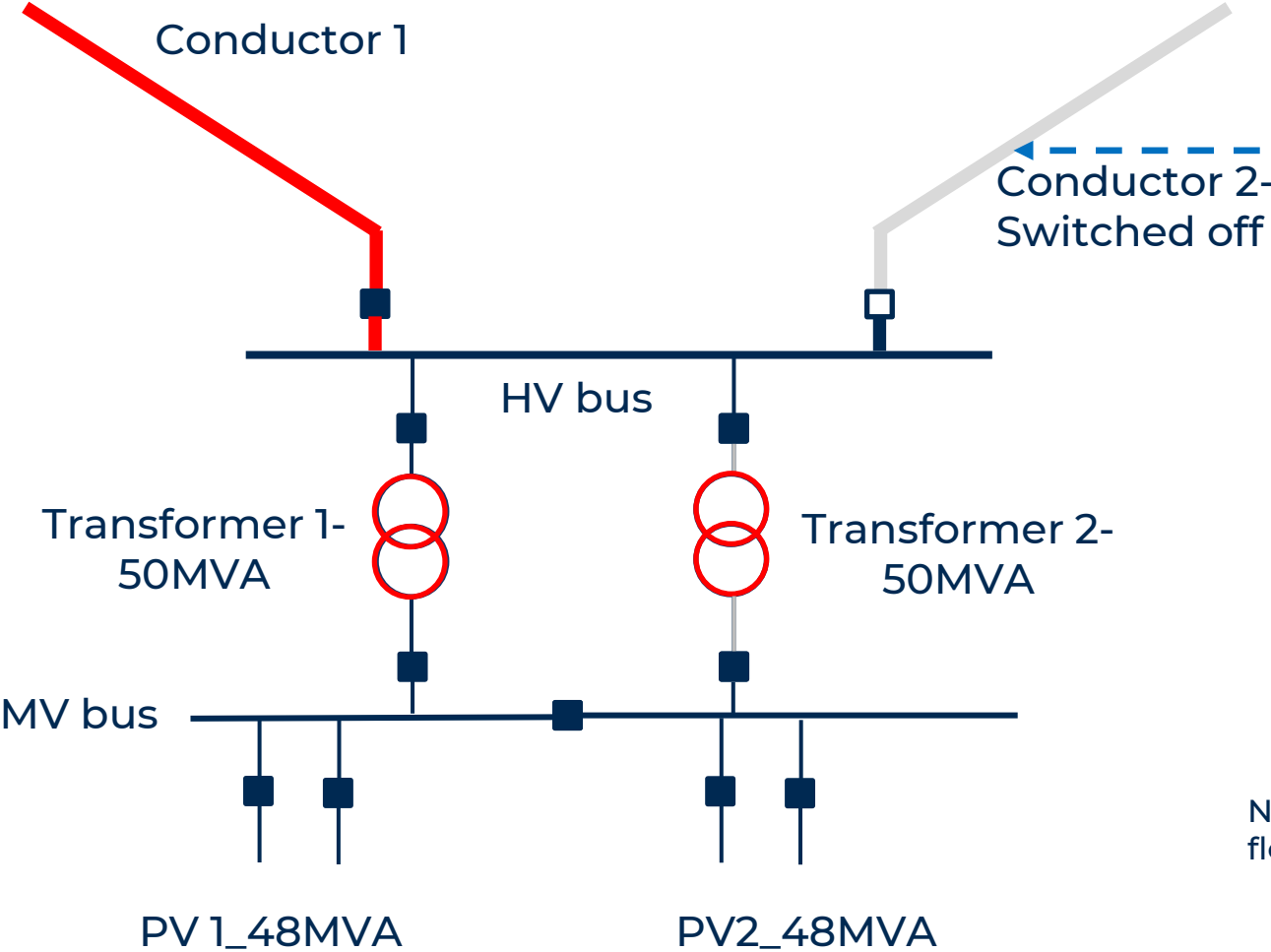
Use Case #3 | HV-MV transformer overload by reverse flow

Typical substation topology with 2 transformers:



Use Case #4 | HV conductor overload by production flow

PV connction on HV section via E.ON substation:



Flex.ON platform működés NAGYON MAGAS szinten

Szűkület azonosítása

A Flex.ON platform a különböző E.ON rendszerekből (SCADA, INIS, DAP, stb.) beérkező adatok alapján egy héttel előre azonosítja a potenciális szűkületet és a megoldást nyújtó potenciális eszközöket.

Példa: Aszófő alállomáson a nyári nagy fogyasztás miatt a transzformátor túlterhelődés július 30-ra észlelve és a szűkület feloldására alkalmas kapcsolódó energiatároló és naperőművek azonosítva.

Piac nyitása

A Flex.ON platform a szűkület feloldására aukciót kezdeményez, amire az azonosított eszközöket megkéri hogy vegyenek részt. A beérkezett ajánlatokat sorba rendezi ár és hatás alapján és kiválasztja a legjobb megoldást.

Példa: Július 29-én a kapcsolódó eszközök emailben értesítést kapnak. Csak a tároló ad ajánlatot, ami megoldja a szűkületet és így elfogadásra kerül az ajánlata. Ementén utasítást kap a tároló, hogy júl. 30-án miként működjön.

Szűkület feloldása

A Flex.ON platform aukción induló és nyertes eszközök a kapott utasítást maguk hajtják végre, amit a platform ellenőriz. Sikeres végrehajtás esetén az elfogadott ajánlat és teljesítés alapján megtörténik az elszámolás.

Példa: Július 30-án az energiatároló végrehajtja a platform utasítását, így megelőzzük a szűkületet. A platform sikeresnek találja a végrehajtást, így az elszámolás megtörténhet.

Hálózatszámítás – adatok

SAP ügyfél profil allokáció
(SLP)

Mértékadó éves fogyasztás
(MÉF) Távmért fogyasztás
SCADA mérés (KÖF, NAF)

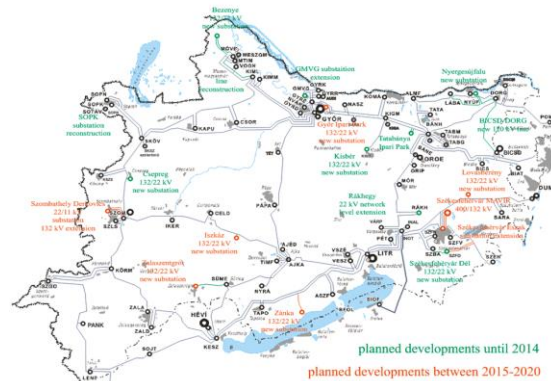
NAF: Hálózati topológia
(SCADA)+ SCADA mérések-
historikus

NAF/KÖF: topológia+ SCADA
mérések- historikus

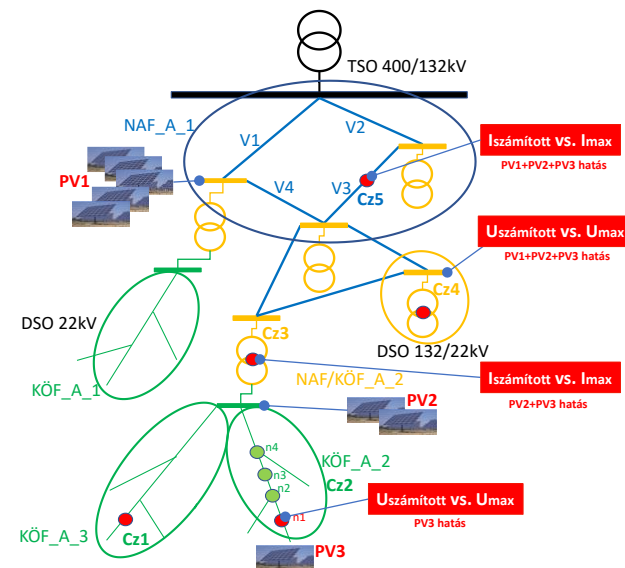
KÖF: Hálózati topológia (INIS)+
SCADA mérések+ SLP/MÉF és
AMR KÖF/KIF tr.-ra
aggregálva –historikus adat
KIF: topológia (INIS)+
SLP/MÉF és AMR
csomópontokra- historikus
adat

Idősoros számítás a következő
hét napjaira

Hálózati topológia



Állapotbecslő algoritmus (SE)



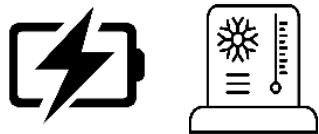
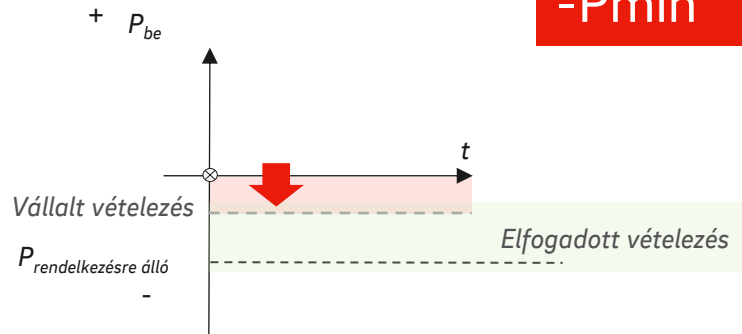
NAF: áramlási adat (I)- összehasonlítás határértékkel
NAF/KÖF: Mért áramlás (I) – összehasonlítás Tr. Névleges
teljesítménnyel

KÖF: Számított U érték a csomópontokra (KÖF/KIF Tr.
Csatlakozás) – összehasonlítás megengedett +/-értékkel
KIF: Számított U érték a csomópontokra (fogy.csatlakozás) –
összehasonlítás megengedett +/-értékkel (szabvány)

Új termék, Kapacitás korlát- $P_{\min}$ vs. $P_{\max}$ a fizikai hatás tükrében

$P_{\min}$ - fogyasztó

- $P_{\min}$

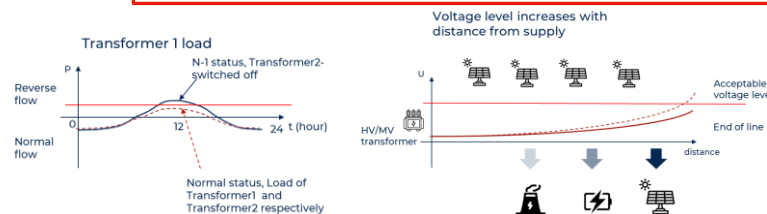


Jellemző szolgáltatások:

1. Túltermelés miatti magas feszültség problémák kezelése azonos CZ-n belül
2. Túltermelés miatti túlterhelés azonos CZ-n belül

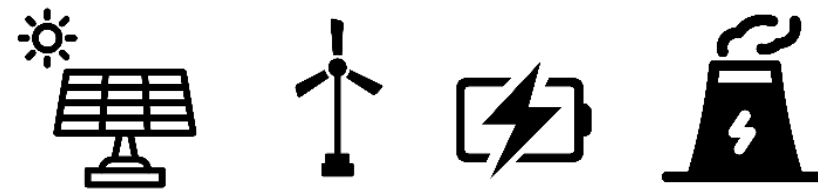
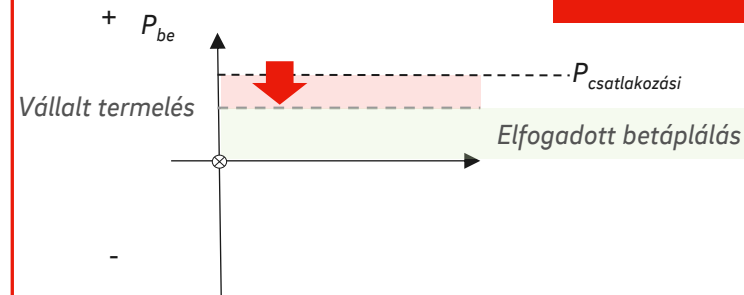
Pl.: PV penetráció.

Fizikai hatás szempontból párban jár – $P_{\min}/+P_{\max}$.



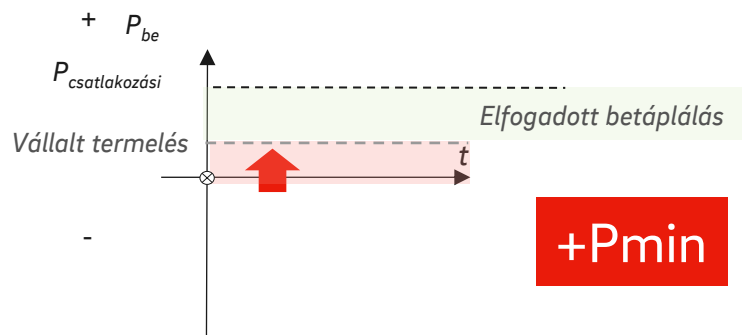
$P_{\max}$ – termelő

+ $P_{\max}$



$P_{\min}$ - termelő

+ $P_{\min}$

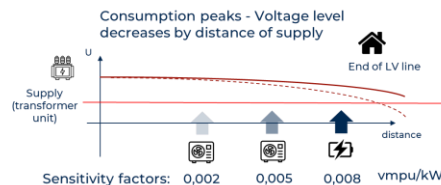


Jellemző szolgáltatások:

1. Túlfogyasztás miatti alacsony feszültség, vagy túlterhelési problémák azonos CZ-n belül

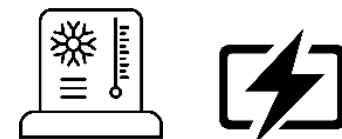
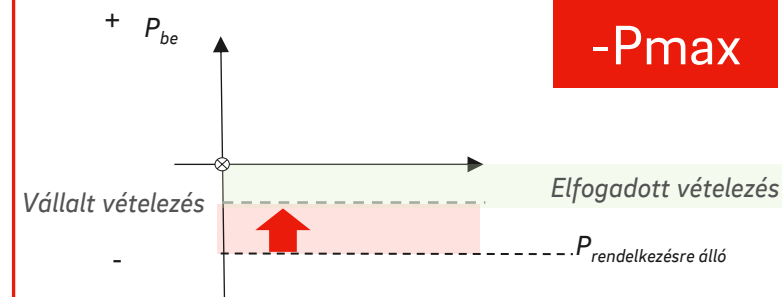
Pld. E-autó, új nagy-fogyasztók, hőszivattyúk.

Fizikai hatás szempontból párban jár – $+P_{\min}/-P_{\max}$.



$P_{\max}$ – fogyasztó

- $P_{\max}$

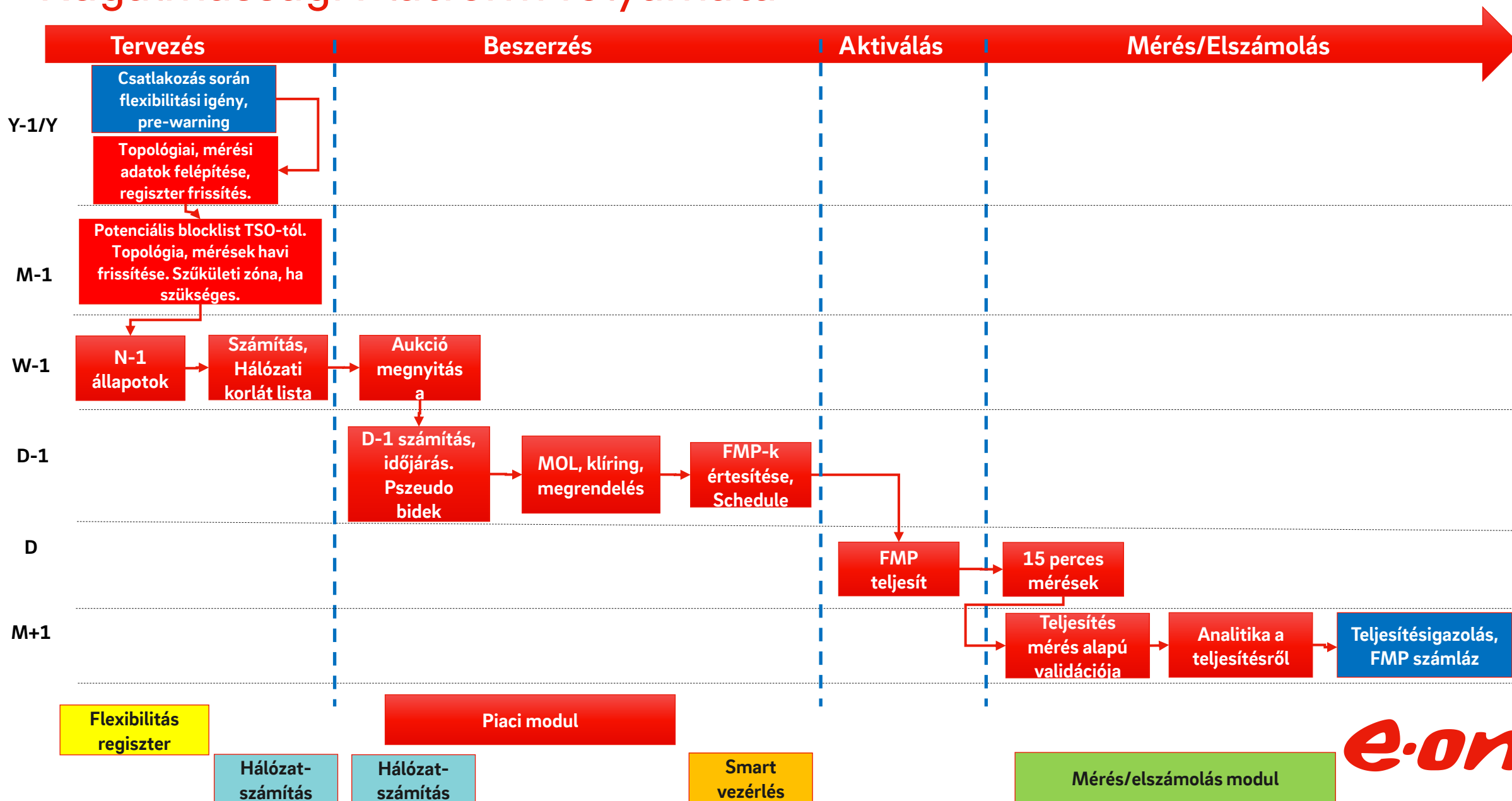


e-on

Kiegészítő információk



Rugalmassági Platform folyamata



Hálózatszámítás

Load Flow vs. állapotbecslés

Hogyan kezeljük a bizonytalanságot?

LF

- Gyakorlatilag determinisztikusan megadott csomóponti jellemzők (P, Q, SL/PQ/PV)
- Nem szinguláris Jacobi mátrix → invertálható → eredmények változásából számíthatóak az állapot változások → slack bus beavatkozása nullázza ki a különbséget

SE

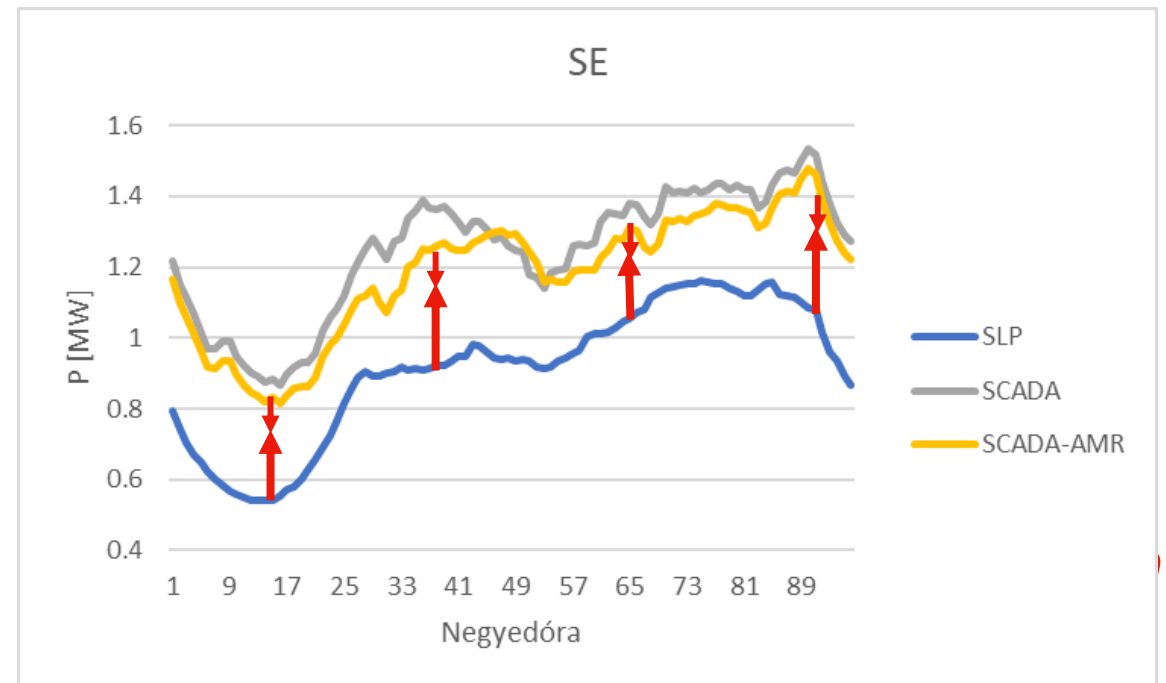
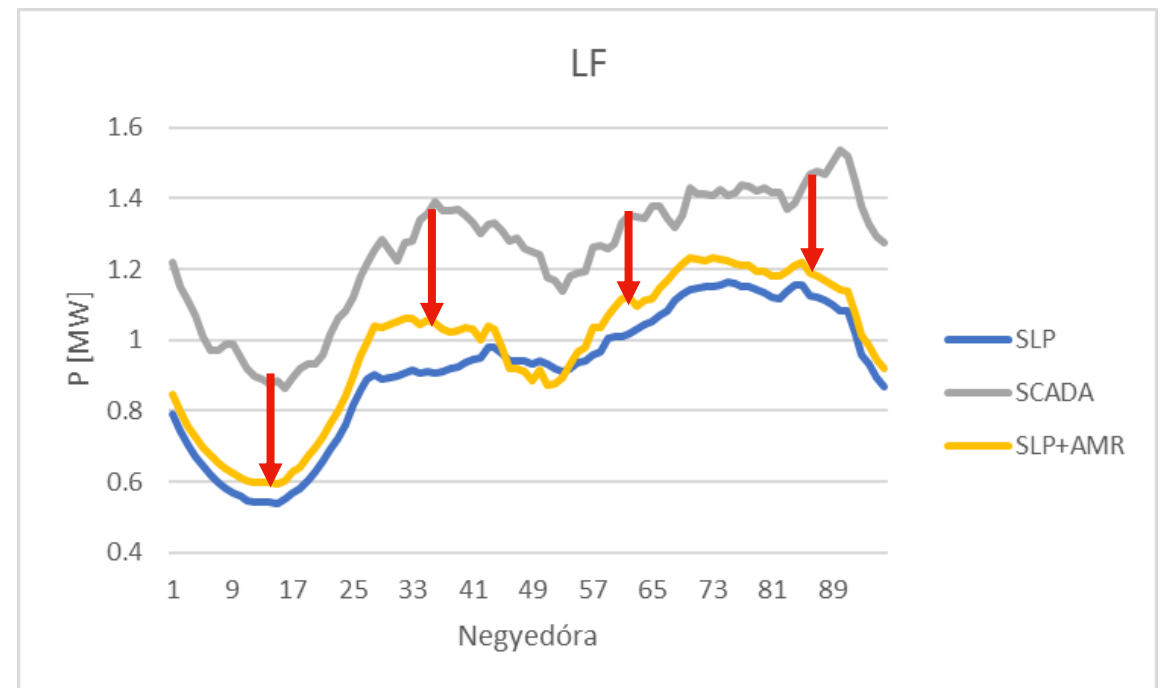
- Mérési bizonytalansággal megadott csomóponti és ág jellemzők (P, Q, U, δ)
- $M \neq N$ Jacobi mátrix → nem invertálható, de meghatározható az eredmények változásának és az állapotok változásának kapcsolati erőssége → minden állapotváltozó értéke módosítható a beállított bizonytalanság alapján → sok beavatkozás együttesen nullázza ki a különbséget

Hálózatszámítás

Load Flow vs. állapotbecslés

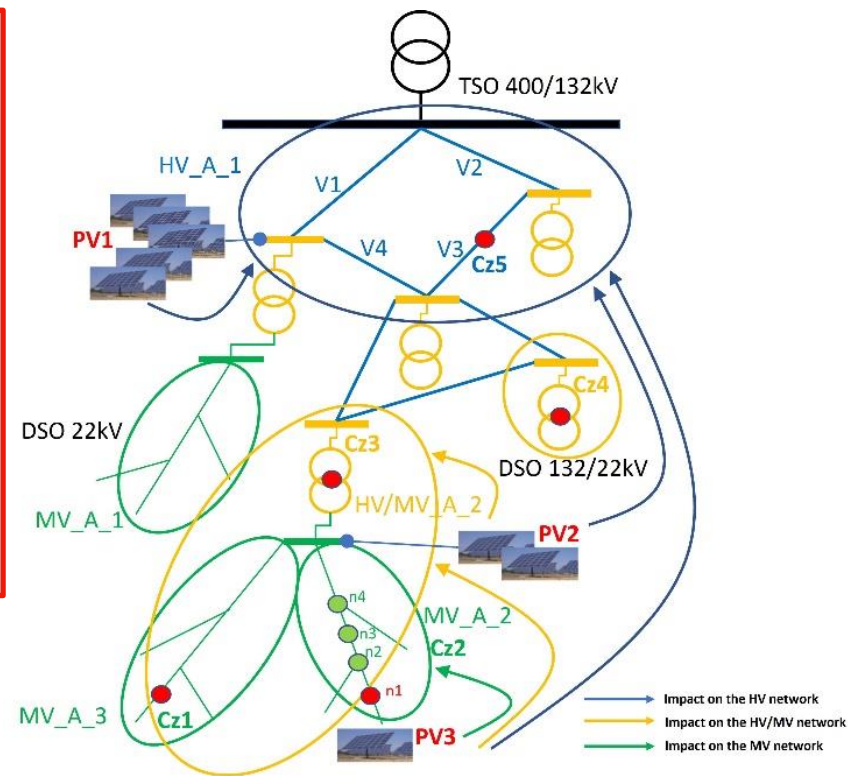
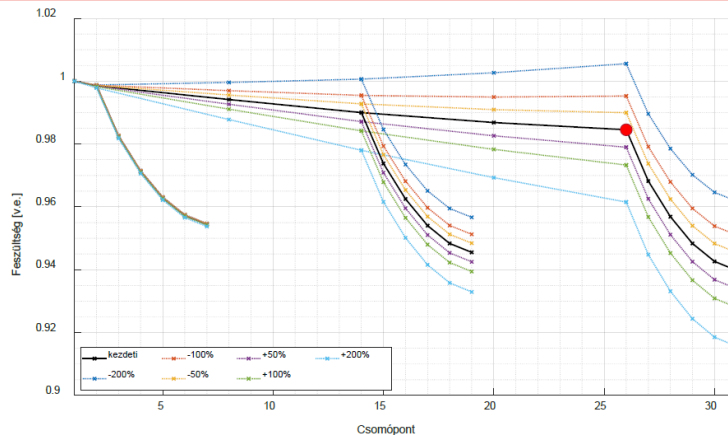
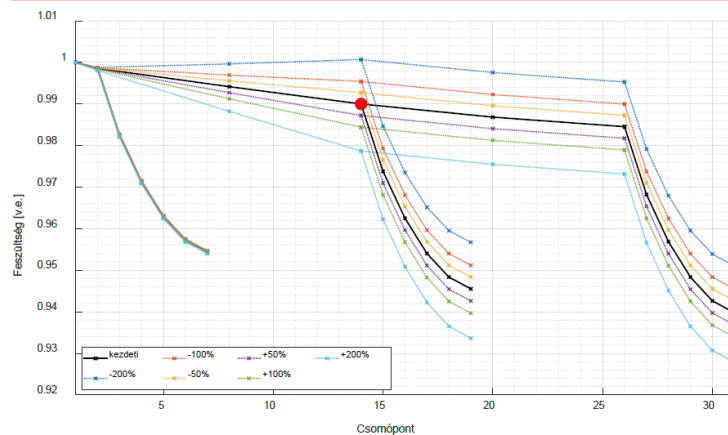
- Pécs/Kertváros-Keszü vonal, 2021. január 18.
 - Mérésből származó (pontos!) SCADA és AMR adatok
 - Profilozásból származó (pontatlan) SLP adatok
- LF esetén a slack bus a KÖF gyűjtősin → a SCADA adatot módosítjuk a bizonytalanság csökkentéséhez*
 - Átlagterhelés kb. 0,91 MW
- SE esetén mindhárom adatot módosítjuk, de különböző mértékben (becslési bizonytalanság)
 - SCADA, AMR: $\pm 15\%$, SLP: $\pm 50\%$
 - Átlagterhelés kb. 1,18 MW

**idősoros számításnál elterjedt DSO gyakorlat az SLP értékeket konstans szorzóval növelni, hogy a vonal összteljesítménye megegyezzen a SCADA méréssel*



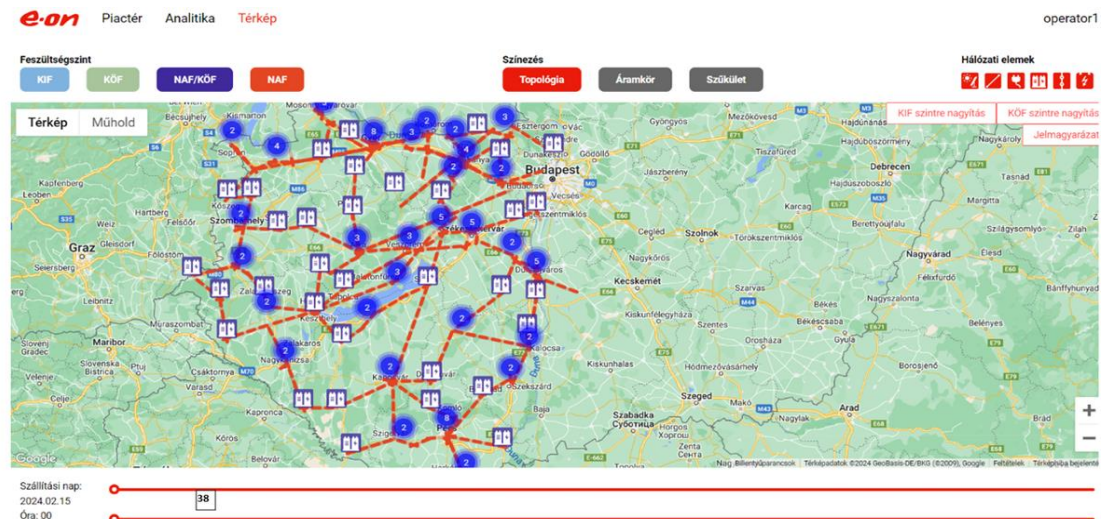
Hálózati hatás – annak modellezése az érzékenységi tényezővel

- Az egyes eszközök (pld. PV) a saját érzékenységi tényezőjükkel (ÉT) van figyelembe véve, ami azt jelenti, hogy egységnyi szabályozás esetén mekkora mértékben változtatja az adott node, vagy adott vezeték/Tr. hálózati jellemzőit (U ill. Flow).
- Alapvetően a villamos távolságokkal függ össze az ÉT.
- Az ÉT, a számítás során kijött U, I és U_{max}, I_{max} közötti Δ együttesen determinálja, hogy mekkora P változással lehet elérni a szabványos értéket.
- A KÖF, NAF/KÖF és NAF hálózatot ezért egybe kezeli a piaci optimalizáló, pld. A KÖF gyűjtő sínre csatlakozó PV is hatást tud gyakorolni a NAF hálózatra. Az Hálózatszámítás eredménye és a piaci optimalizáló között az ÉT teremt kapcsolatot.

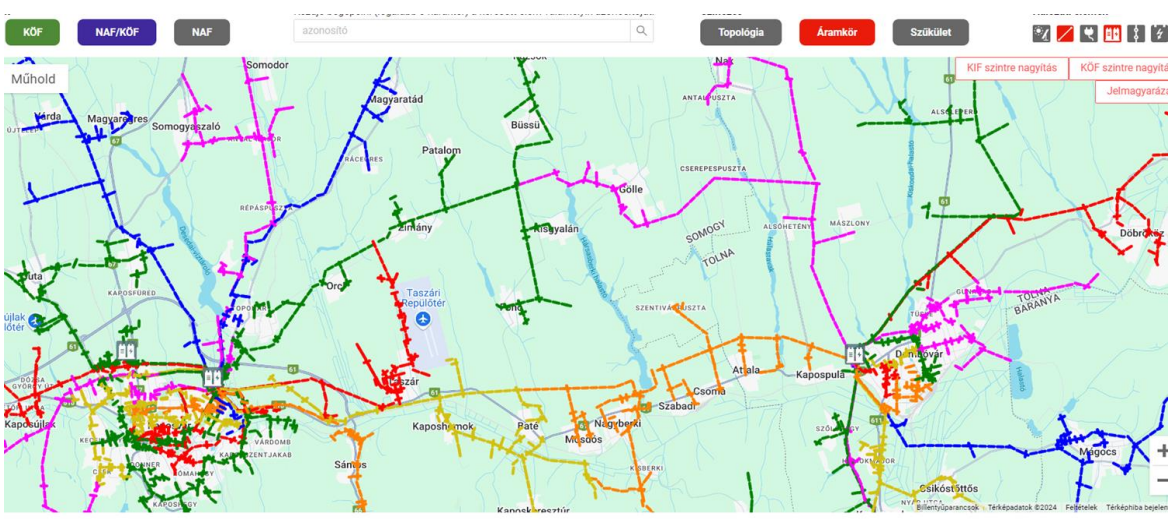


A fenti példa egy KÖF vonal közepén, illetve végén elhelyezkedő PV hatását mutatja. A PV ott hat leginkább, ahol csatlakozik, mindig a legközelebbi csomópontra hat a legjobban. Az is látható, hogy a vonal végén lévőknek a legnagyobb a feszültség emelő hatása.

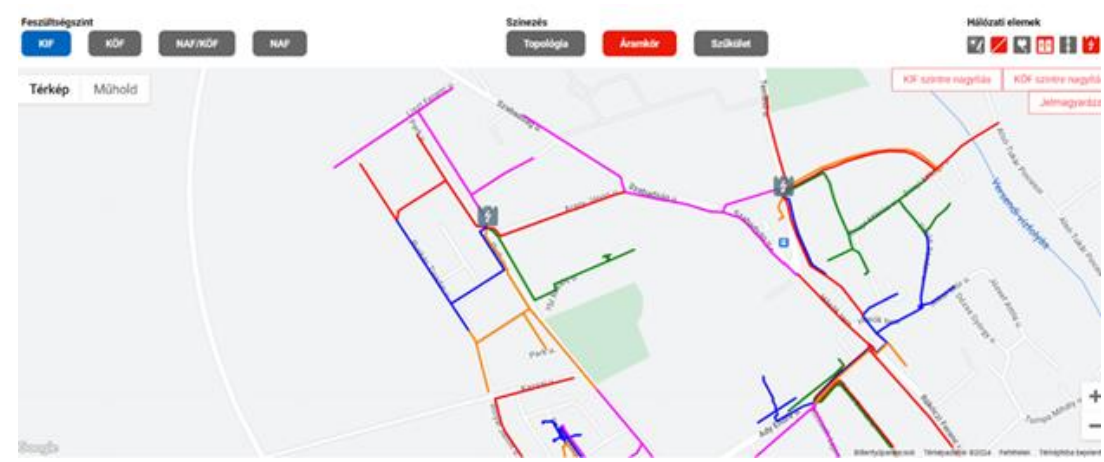
Flex.ON rugalmassági platform MAP UI



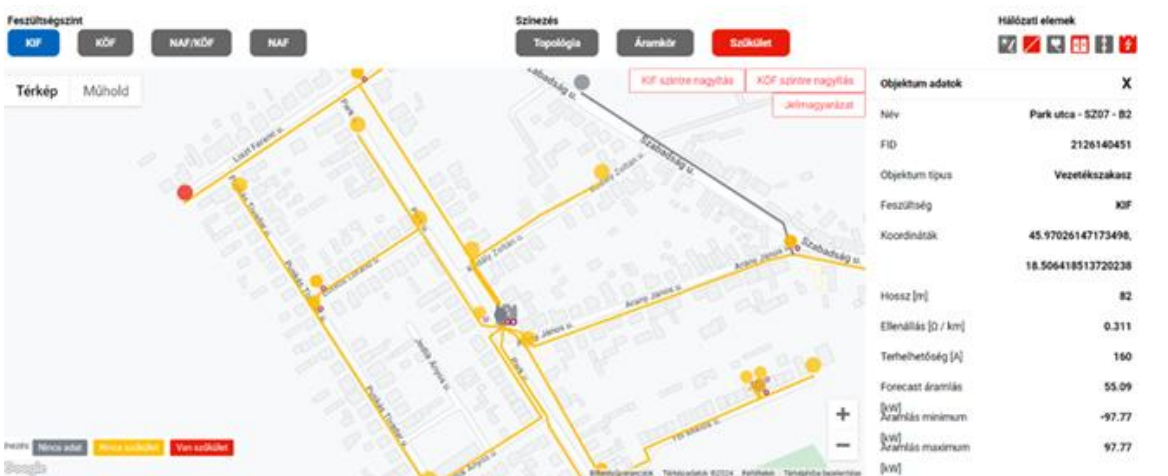
NAF hálózat NAF/KÖF állomásokkal



MV hálózat, ahol a felhasználó színezés alapján megkülönböztethetők a táppontok



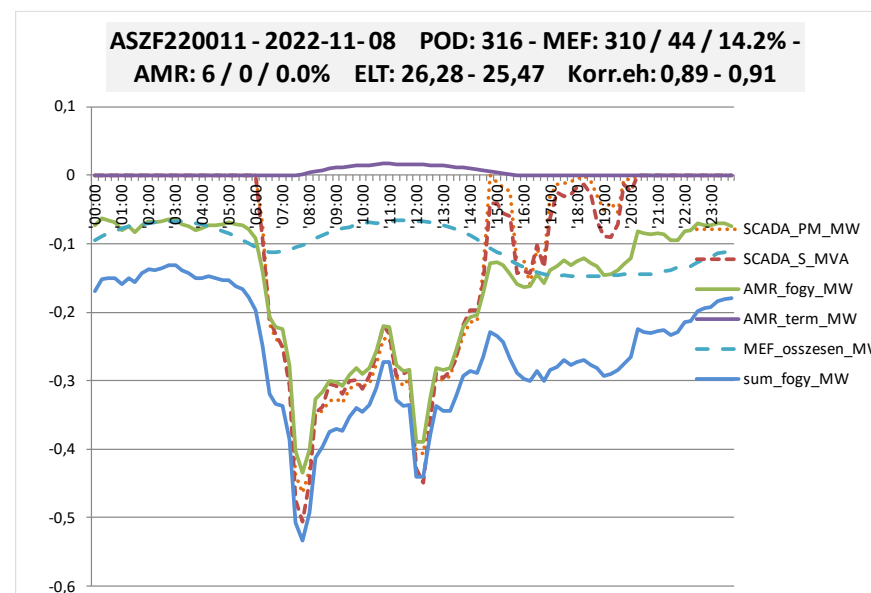
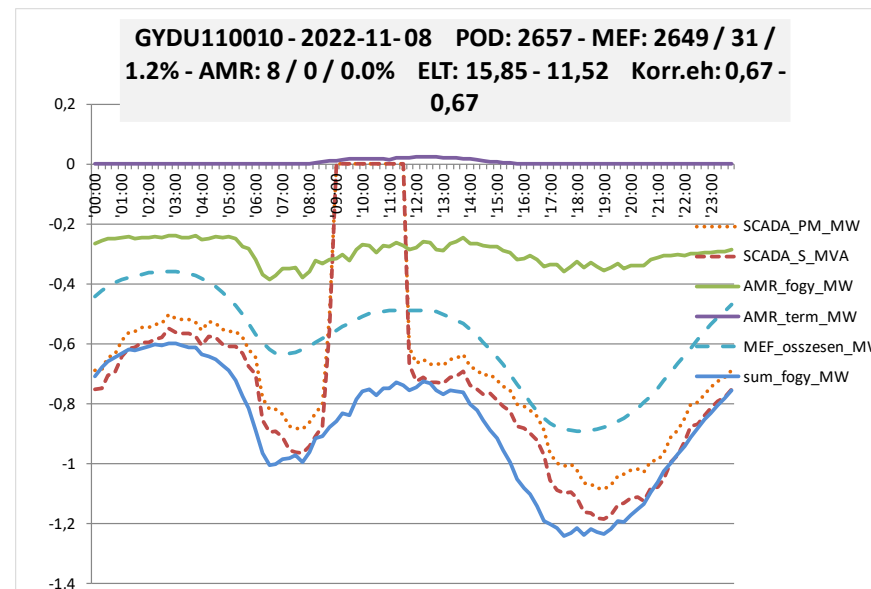
Az ábra a szekunder állomás színes áramköreit mutatja. A felhasználó így megkülönböztetheti az áramköröket.



Ábra a szűkület nézetet mutatja kisfeszültségű hálózaton, a felhasználó információt kaphat az adott áramkör kiválasztott szakaszáról

KÖF, NAF/KÖF számítások – aszgregált termelés/fogyasztás (SLP, AMR) vs. SCADA mérések

- A platform N-1 állapotok esetén használ majd rugalmasságot. Egy NAF/KÖF tr. esetében a KÖF vonalak és a Tr. mérések jól használhatók. Ekkor is számolni kell a KÖF vonalra, hiszen látni kell, hogy nem avatkozunk e be ellentétes irányba, mit okoz az egyik hálózati elem céljából használt flexibilitás a másik elemen.
- Amennyiben nincs KÖF N-1 állapot, akkor nagyobb pontosság érhető el. Amennyiben van KÖF N-1 állapot (vonaleladás), akkor korlátozottan lehet használni a SCADA mérés pontosító hatását.
- Előfordul, hogy hiányzik SCADA mérés (lsd. ábrák), ami vagy átterhelésekből adódik, vagy mérés hibából (ez a ritkább). Átterhelések esetén lehetőség van olyan pszeudo nap kiválasztására, ami a legjobban hasonlít a jövőbeni szállítási napra.

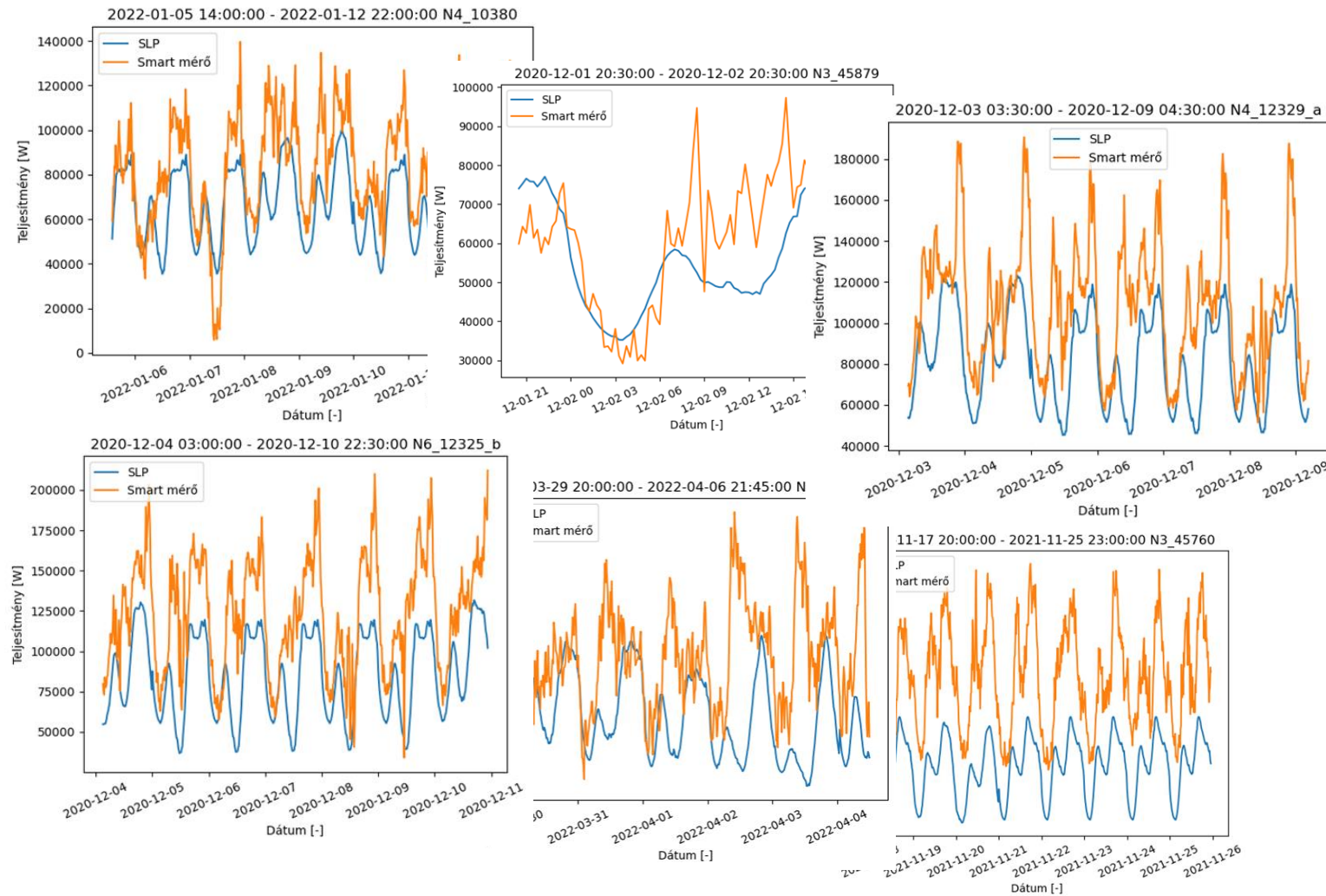


Platform validáció – adatminőség, topológia, adatbázisok

A kihívások, amiket észleltünk röviden:

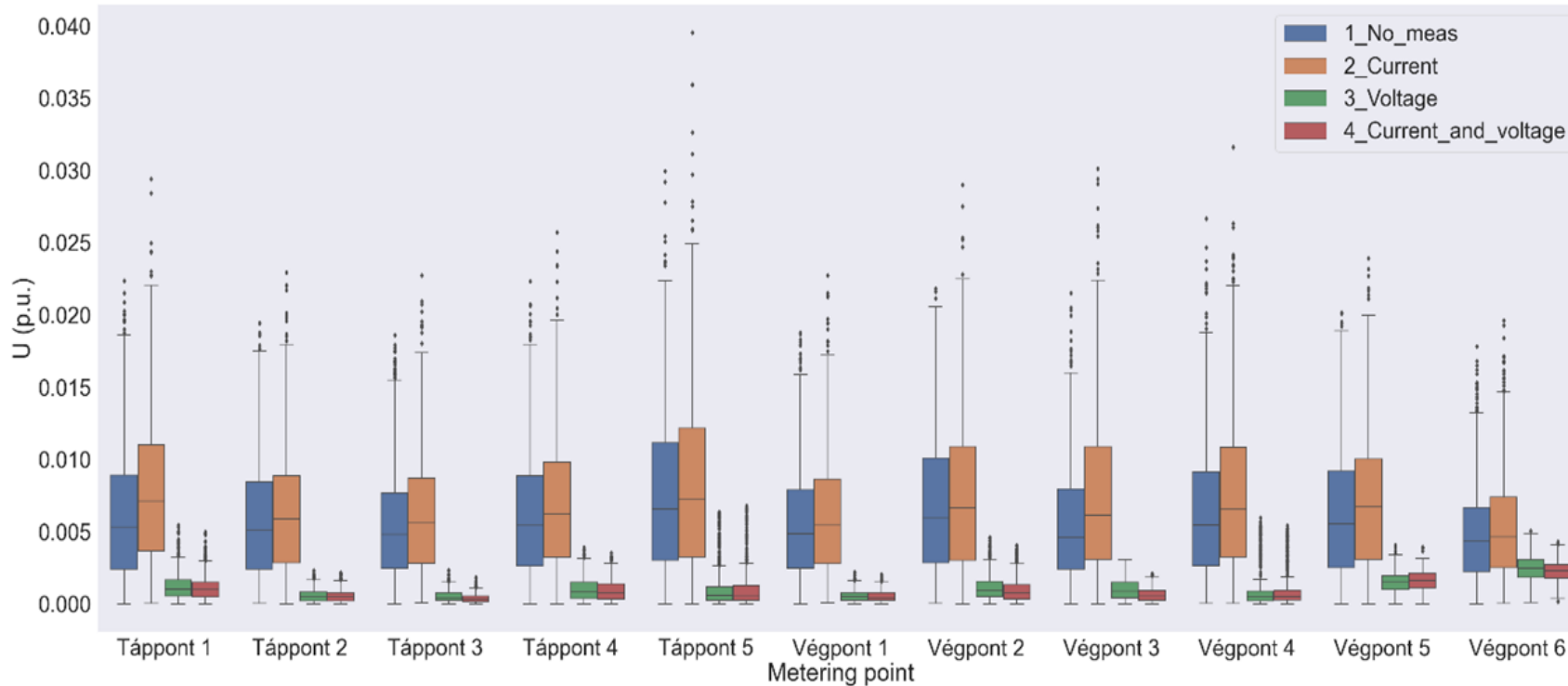
- A különböző topológiák eltérő adatbázisokból érkeznek, a hozzájuk tartozó mérések szintén eltérő adatbázisból érkeznek.
- NAF, NAF/KÖF esetében SCADA, KÖF és KIF esetén GIS. Az állomásokhoz és KÖF vonalakhoz tartozó mérések SCADA-ból, míg a KÖF és KIF vonali számításokhoz a mérési adatok (SLP MÉF és AMR) SAP-DAP-DB irányból jönnek.
- Ezeket szinkronizálni kell. További tényező, hogy a SCADA mérések függenek a kapcsolási állapottól.
- KIF esetében az SLP áramköri szinten nagyobb pontatlanságot ad, mint aggregált szinten, valószínűleg a jövőben a smart mérő feszültség adatok bevonása lesz szükséges.

KIF számítások- SLP korlátai



- A vizsgálatok során KÖF/KIF transzformátor körzetek és azok bizonyos áramkörei voltak mérve (itt a smart mérő egy nagy pontosságú üzemviteli mérőt jelent)
- Az egyes áramkörök aggregált viselkedése nagyon fogyasztói struktúra függő.
- Az SLP és AMR mérések (KIF-en SLP túlsúly) kerültek alkalmazásra a hálózatszámítás során.
- Az állapotbecslőnek (WLS) meg kell adni, hogy mekkora a szórása a mérésnek.

SLP korlátai vs. Smart mérő – lehetőségek



- Az U és I mérések használata egy nagyságrenddel növeli a pontosságot.
- Csak az I mérések használata rosszabb pontosságot eredményezhet.
- A 4. scenárióban a pontosság növekedése a feszültségméréseknek köszönhető, míg az árammérések csökkentik a szórást és az átlagértéket is.

SLP helyett Smart mérő negyedórás görbe már pontosabb, azonban az állapotbecslő annál pontosabb, minél több hálózat mentén elhelyezkedő U, I mérés is van. A smart mérők egyébként alkalmasak 1,5,10 perces URMS szolgáltatására. Ez ígéretes potenciál a hálózatszámítás számára.

KIF állapotbecslés – smart mérő lehetőségek

1. Leginkább gyakorlati: KIF „feszültségtérkép” – megjeleníteni az URMS értékeket hálózat mentén. A kritikus körzetek, áramkörök figyelése.
2. Pontosság kérdése – hálózati mérések miként befolyásolják az állapotbecslés eredményét, megbízhatóságát → Smart mérő segít, de nem mindegy az időtáv. Ez már a forecast módszertan területe.
3. Smart mérő a KIF fő adatforrása. Mely mérők adatai szükségesek egy KIF áramkör/körzet becsléséhez? Nem kell minden pont, kritikus pontok kiválasztási elveit kell megtalálni → Lendület projekt megmutatta, hogy az állapotbecslés pontossága jelentősen növelhető az áramkör mentén elhelyezett néhány méréssel (3-4).
4. OLTC / IVR irányítástechnikájának fejlesztése. NAF/KÖF trafók esetén volt korábban kutatás a kompaundált karakterisztika fejlesztésére (súlypontra szabályozás, billegő parabola) → Smart mérő áramköri adatok segíthetnek, azonban az időtáv fontos, jelenleg napi leolvasás, telekommunikációs/ICT korlát a napon belüli többszöri kiolvasás, ezt kutatni kell.
5. Időtávok – jelenleg tavalyi adatokon fut a számítás. Mit pontosít számszerűen, ha különböző időtávokon rendelkezésre áll az adat? → Havi, Heti, Tegnapi, közel Realtime → ez átvezet két fontos témakörhöz → Forecast és ICT képességek. Platform számára már havi SCADA adatok, és havonta frissített HMKE és MÉF adatok, azonban a smart mérők esetén további kutatás szükséges.

OLTC

Terhelés alatti fokozatkapcsolós
transzformátor

Kisfeszültségen alkalmazható soros
feszültségszabályozó

KIF IVR

Feszültségproblémák

Energiahatékonyság

Terhelésmenedzsment

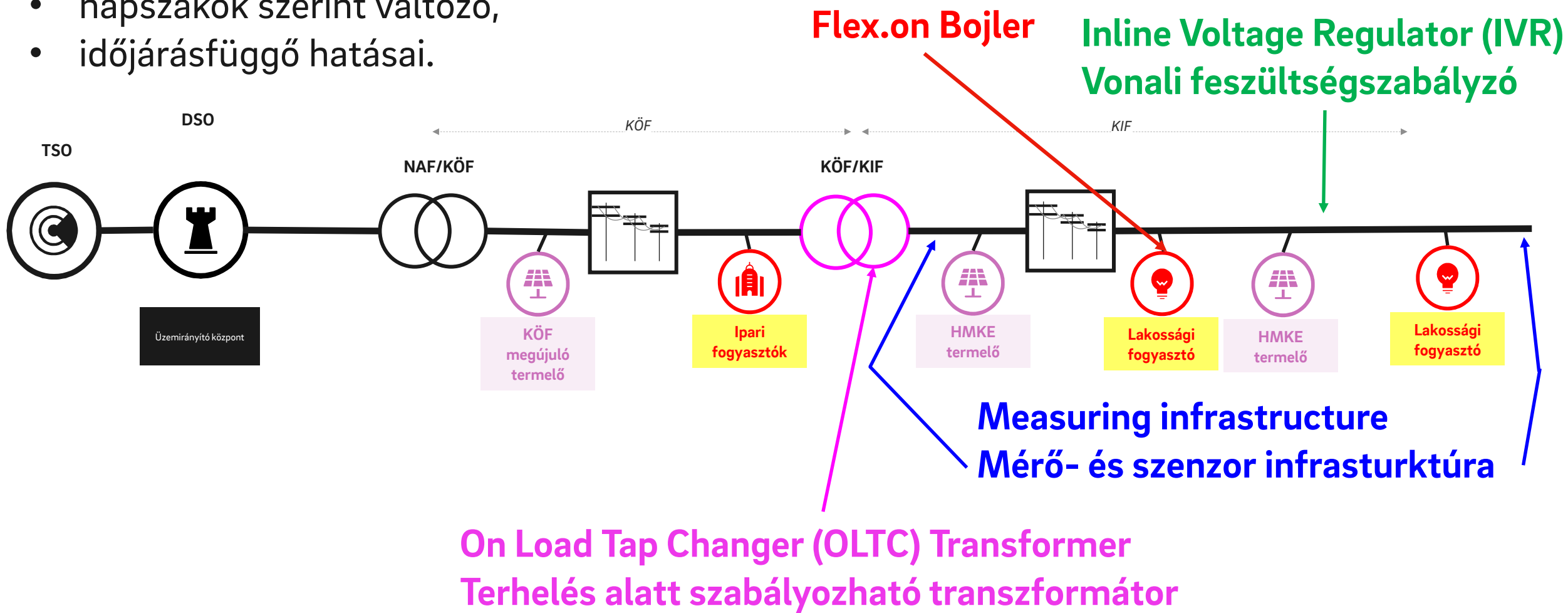
Megfigyelhetőség

Aktív elosztóhálózat

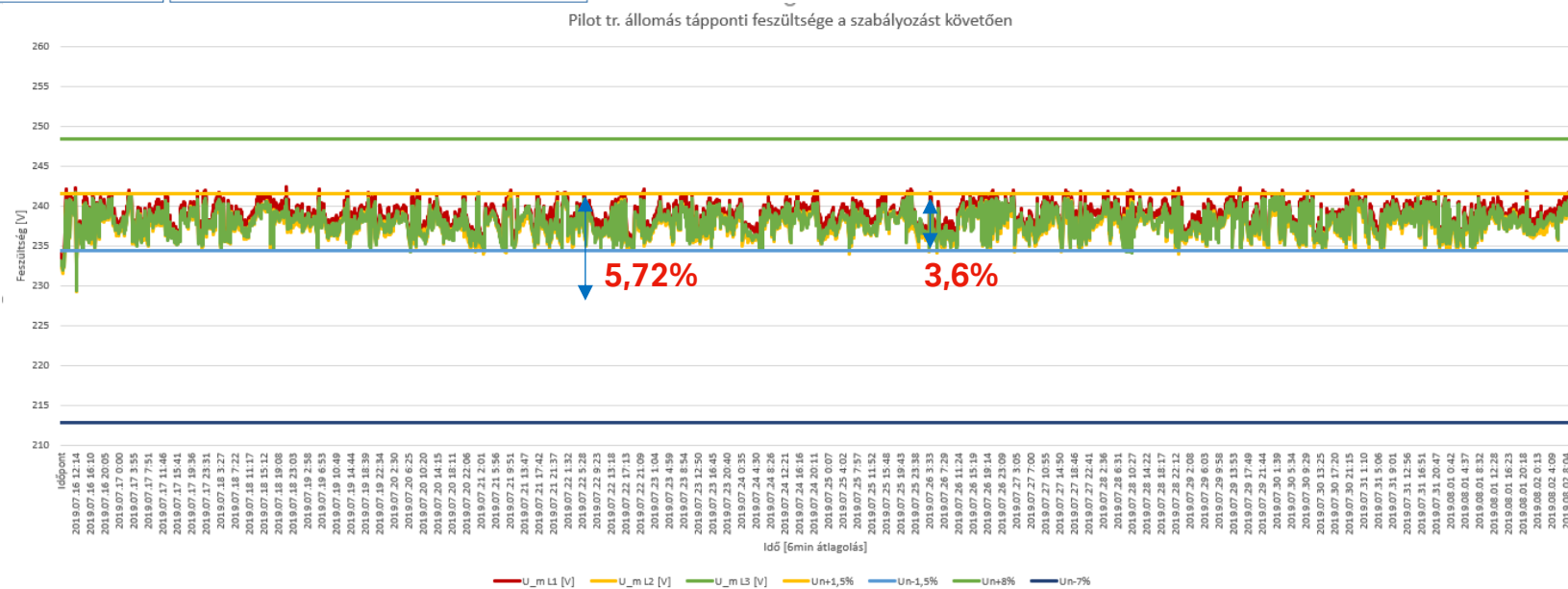
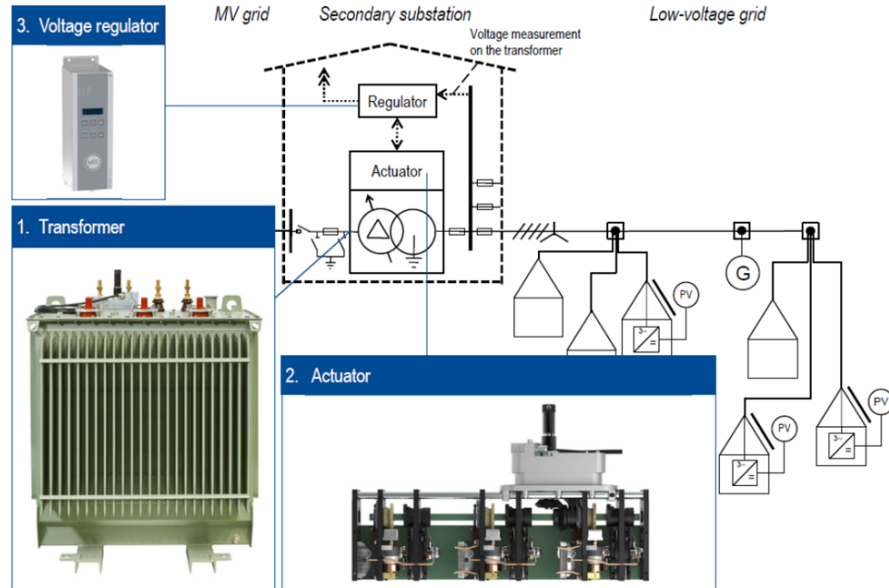
Hagyományosan állandó feszültségesésre méretez(t)ünk!?

Megújuló termelők

- szezonálisan változó,
- napszakok szerint változó,
- időjárásfüggő hatásai.



Aktív hálózat menedzsment – OLTC

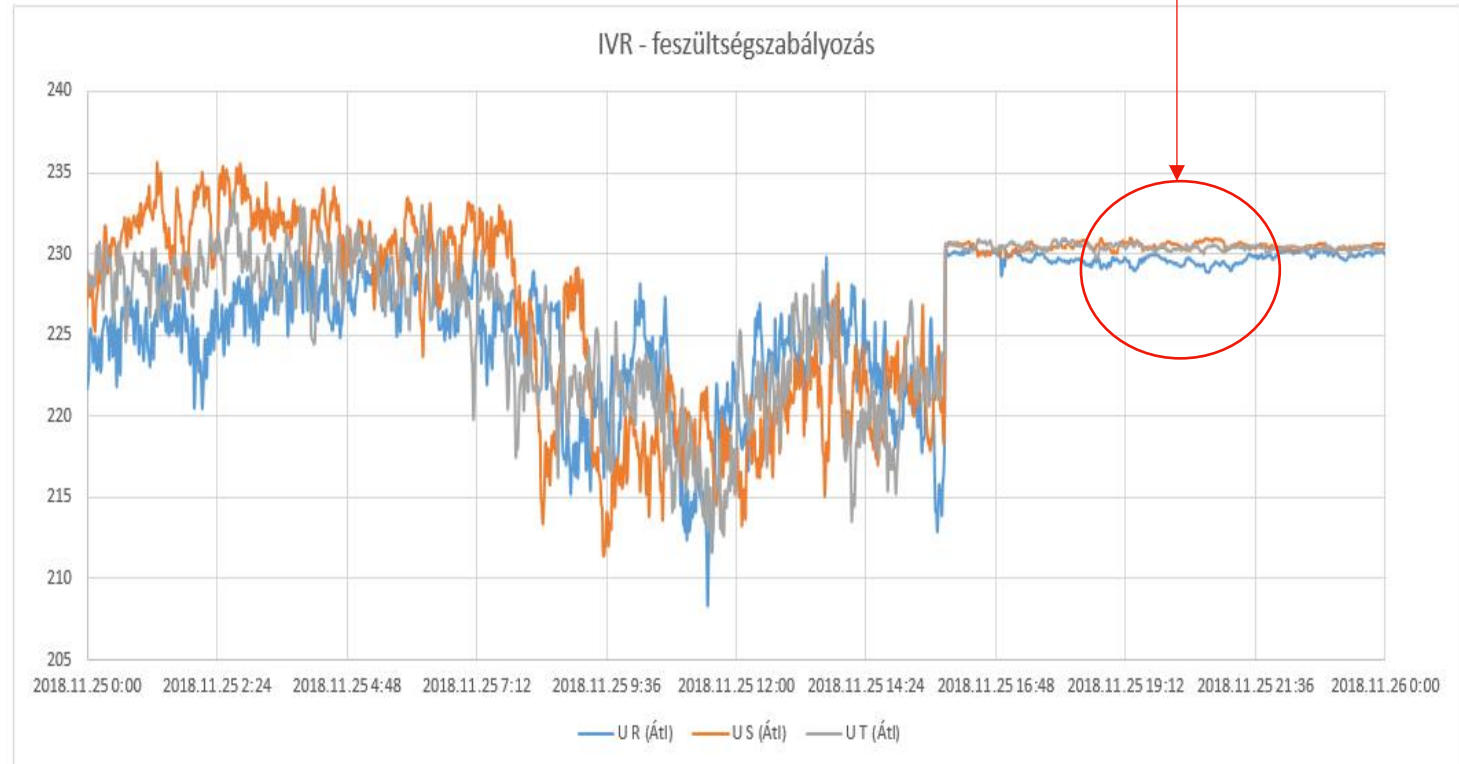


e-on

IVR – Eredmények

A szabályozó működése ígéretes, néhány működési anomália kiküszöbölése után folyamatosan és stabilan teljesíti az elvártakat, a pilot sikeresnek tekinthető.

Szabályozó bekapcsol – feszültség $U_N \pm 2$ V tartományban marad



LDS szekrény

Hurkolt hálózat létrehozását kialakító szekrény

MATESZ

Elosztói energiatároló konténerek telepítése
és vezérlőrendszer fejlesztés

KöF IVR

Középfeszültségen alkalmazható soros
feszültség szabályozó

Szimmetrizátor

KIF hálózati asszimetriát csökkentő eszköz

PV500 / ANM4L

Kiserőmű inverter bevonása a feszültség problémák
méréséklésébe, inverter kontroll

DAPPoD

HMKE inverterek bevonása a
feszültség problémák méréséklésébe

Feszültség problémák

Energia hatékonyság

Terhelés menedzsment

Megfigyelhetőség

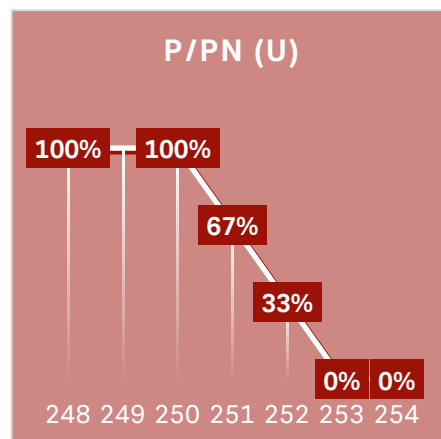
**Fókusz és cél:**

Feszültségfüggő hatásos teljesítmény beállítása háztartási méretű kiserőművek esetén a kijelölt áramkörökön; adatok gyűjtése és elemzése azon kritikus kérdések igazolására, hogy a karakterisztika

- **Mérsékeli feszültségemelkedést** (DSO értékajánlat)
- **Csökkenti az inverter kapcsolgatást** (ügyfél értékajánlat)

**E.ON relevancia:**

- Feszültségemelkedési probléma mérséklési lehetősége KIF-en:
 - P(U) karakterisztika tesztelés
 - Egyéb karakterisztikák, módosított P(U), Q(U) megfontolása
- „Prosumirismus” alakításának első lépése
- Első lépés a kislefeszültségű rugalmassági szolgáltatás megfontolása felé

**PV500 / ANM4L****Fókusz és cél:**

A tesztelés során a naperőművek inverterbeállításait változtatva vizsgáljuk az erőmű csatlakozási pontjának feszültségét. A projekt folyamán különböző szabályozási stratégiák kerültek tesztelésre, ezzel lehetőséget nyújtva eltérő teljesítménytényezők által okozott hatások vizsgálatára.

- naperőművek hálózatba való betáplálásának szabályozási lehetőségeinek vizsgálata
- inverter szabályozási-stratégiák gyakorlati implementációja
- naperőművek meddőteljesítmény-betáplálásának vizsgálata

**E.ON relevancia:**

A projekt lehetőséget biztosított a DSO-nak, hogy megismerje az elosztott generátorok vezérlésének és kezelésének technológiai feltételeit, lehetséges technológiai megoldásait, illetve ezen képességek energiarendszerbe való integrálását. A megszerzett tapasztalatok fontosak lesznek a szükséges szerződéses és szabályozási keretek kialakításában.

Fix Cos-Fi	Watt-Var	Volt-Var	Volt-Watt
$Q = P \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_{fix}} - 1}$			
Állandó cos-fi beállítás, amely ugyan megelőzheti a feszültség problémákat, de állandó meddő áramlást eredményez	Feltételezésen alapul, hogy amikor magas a termelés (nagy P), akkor jelentkeznek feszültség problémák. Annyiban jobb a fix cos-fi esetnél, hogy dinamikus. Azonban nem a mindenkor feszültségre reflektál	Ez a szabályozás már reflektál a feszültség viszonyokra. Tehát a mindenkor feszültségprobléma generálja az előre beállított szabályozás működését	A feszültség függvényében a hatásos teljesítményt csökkenti. Inkább KIF-en lenne jó a magas R/X viszony miatt



Fókusz és cél:

Az egyfázisú fogyasztók és prosumerek (pl. napelemes rendszerek) által okozott aszimmetriák csökkentik a hálózat kapacitását és veszteségeket okoznak.

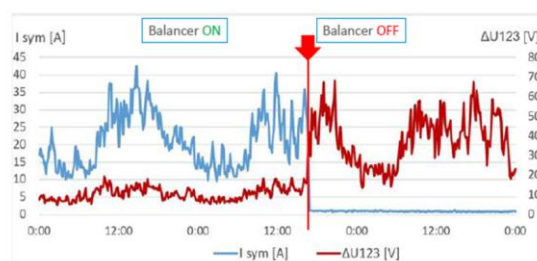
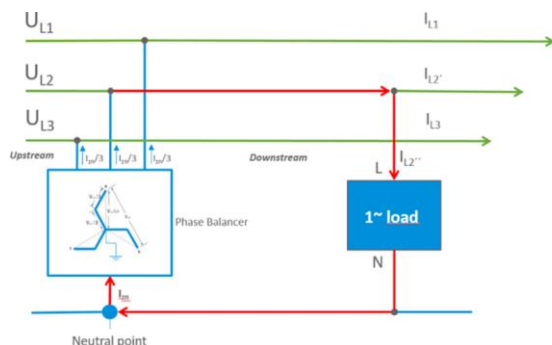
Az eszköz csökkenti a vonalon észlelhető aszimmetriát azáltal, hogy elosztja a nulla vezetőn átfolyó áramot, és visszaforgatja azt a fázisokba. Ezzel növeli a hálózat kapacitását és csökkenti az energiaveszteségeket.

A pilot projekt keretein belül 3 db feszültség szimmetrizátor kerül telepítésre három különböző helyszínen.

Az üzembe helyezést követően a cél az eszköz működésének és hálózatra gyakorolt hatásának mérése, majd ezt követően az eredmények kiértékelése és elemzése.

E.ON relevancia:

- Alternatív hálózatfejlesztési megoldásként is szolgálhat Magyarországon és akár más elosztói engedélyesek (DSO) számára is.
- A hálózati aszimmetria csökkenése, az ügyfélpanaszok mérséklése és a hálózati kapacitás növekedése.
- Fogyasztói elégedettség, az energiaminőség javulása.



LDS szekrény

Fókusz és cél:

Egyazon tr. körzet 2 leágazását összeköti az LDS szekrény, ezzel egy hurkolt hálózatrészt hozva létre. Működési elve hasonlít a laza biztosítóra.

Ezzel csökkenthető a hurokimpedancia, eltolható bontási pont, megváltozik a feszültségprofil. Képes a távvezérlésre, helyszíni visszajelzésre.

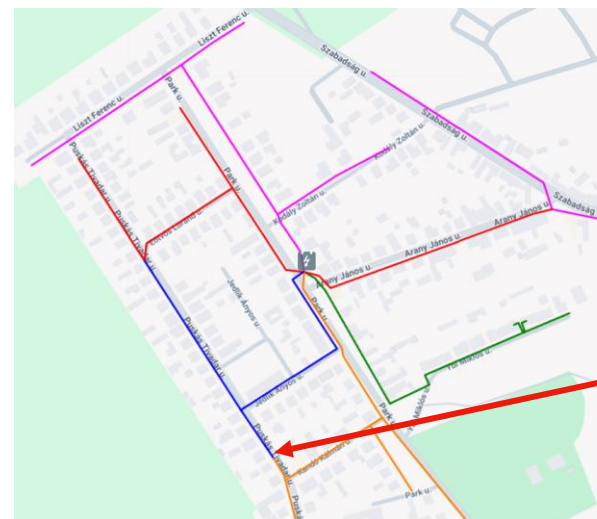
Bizonyos helyszíneken megoldást jelenthet, azonban ez nem egyenértékű az egyéb feszültségproblémákra reagáló eszközökkel (IVR, OLTC).

Folyamatban van a pilot helyszínek keresése, a specifikáció és a részletek tisztázása.



E.ON relevancia:

- Alternatív hálózatfejlesztési megoldásként is szolgálhat Magyarországon és akár más elosztói engedélyesek (DSO) számára is.
- A hálózati befogadó képesség egy csökkentett beruházás intenzitású megoldása, azonban korlátai is vannak (életvédelem, üzemeltetés).
- Fogyasztói elégedettség, az energiaminőség javulása.



Kék és narancs áramkörök összekapcsolása



**Fókusz és cél:**

A TwinEU az Európai Unió Akcióterv megvalósításának egyik kiemelt projektje, amely az energiarendszer digitalizációját tűzte ki célul. Ennek érdekében a hálózati és piaci szereplők, a technológiai szolgáltatók és a kutatóközpontok által biztosított egyedülálló kompetenciákra támaszkodva létrehozta a lokális ikerhálózatok együttműködésén alapuló európai szintű Digital Twin koncepcióját, amely lehetővé teszi az infrastruktúra megbízható, rugalmas és biztonságos működését, miközben olyan új üzleti modellek kialakítását segíti elő, amelyek felgyorsítják az európai nettó nulla éghajlatvédelmi célok elérését. Magyar demonstrációs alfeladatban résztvevő cégek: EED, BME, MAVIR, F4STER, APG.

**E.ON relevancia:**

- DLR – Dinamikus távvezeték terhelhetőség fejlesztése
- Kritikus belógás és oszlopközök vizsgálata
- Optimális szenzor darabszám és elhelyezés vizsgálat
- Virtuális szenzor használat Mesterséges Neurális Hálózattal
- Országos DLR rendszer koncepció kialakítása a MAVIR-ral

MATESZ**Fókusz és cél:**

Modernisation Fund – pályázati forrásból megvalósuló 100% támogatási intenzitású, infrastruktúrafejlesztési projekt. A célja 4 db – egyenként 1 MW, 3 MWh-s - elosztói célú és tulajdonú energiatárolók telepítése és ahhoz kapcsolódó központi energiatároló vezérlő rendszer fejlesztése.

**E.ON relevancia:**

- A hálózat felvőképességét növeljük
- Hálózatfejlesztés időben való kitolása
- Újabb energiatárolót telepítésének a megkönnyítése
- Központi vezérlőrendszer kialakítása

**Fókusz és cél:**

- Felhívás száma: Kitöltendő  [link](#)
- Műszaki leírás:
 - Flexibilitási szolgáltatások és termékek kifejlesztése
 - Hálózatszámítási módszer lokalitást figyelembe véve: Érzékenységi tényező
 - TSO-DSO adatcsere
 - Demonstráció előkészítése, tesztelés
 - Legfontosabb leszállítandó: flexibilitás platform deszkamodell

**E.ON relevancia:**

- MAVIR és MVM mellett HU képviselete E.ON HU részéről
- Flex.on projekttel történő szoros szinkron kialakítása
- Releváns esetek behozatala a projektbe (Siklós állomás)
- E.ON HU Flex.on folyamatok, mint minta behozatala

Flex.ON

**Fókusz és cél:**

A projekt célja, hogy megtörténjen egy flexibilitási platform implementációja minden feszültségszintre (KiF, KöF, NaF), hogy a CAPEX-orientált beruházások mellett a rugalmasságban rejlő lehetőségek is kihasználhatóak legyenek. Az E.ON DSO célja, hogy enyhítse a napelemes termelők elterjedésének hatását. A tervezett szolgáltatások/termékek azonban nem csak a fotovoltaiikus egységekkel kapcsolatos hatásokra terjednek ki, hanem a "klasszikus" terhelések, például a hőszivattyúk és a jövőben az elektromos járművek töltése által okozott túlterhelések/feszültségsávok megsértésére is.

**E.ON relevancia:**

- Újfajta termék, kapacitás limit típus bevezetése
- Hálózatszámítás (flexibilitási igény) összekötése a piaci optimalizáló motorral, amely több feszültségszinten nyújt támogatást.
- Olyan piaci időzítés kialakítása, amely figyelembe veszi a MAVIR kiegyenlítő piacot és a nagykereskedelmi energiapiacot is.

Fókusz és cél:

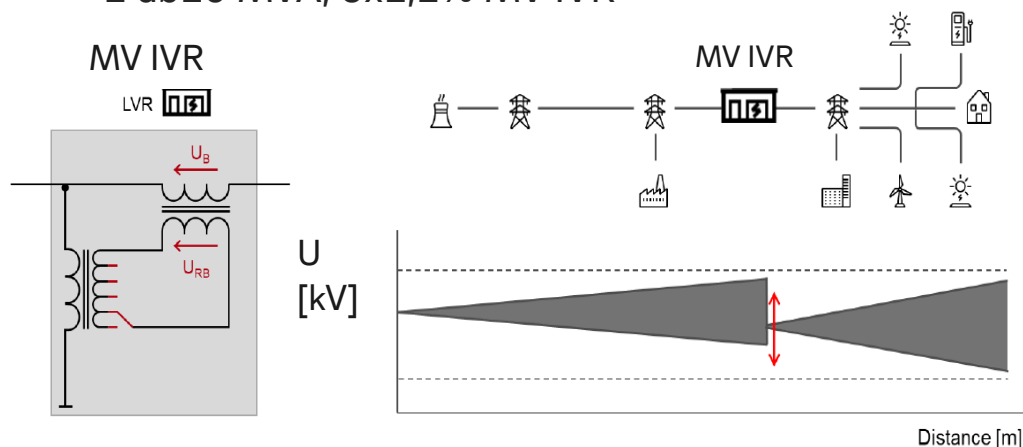
Az EDE területén, Letenye térsége sajátossága (országhatár mellett), hogy kevés a NAF/KÖF alállomás és a legközelebbi NAF vezeték is messze, kb. 19 km-re található. A térségben egy új aktív hálózati elemet szeretne a DSO telepíteni, hogy a jelenlegi feszültség problémákat orvosolja és a közeljövőben a fogyasztói és termelői igényeket kiszolgálja egy rugalmasabb, gyorsabb hálózatfejlesztési alternatívával. A közpfeszültségű soros feszültségszabályzó (KöF IVR) a KIF IVR-nek egy nagy testvére. Az eszköz, a KöF gerinchálózat mentén hatékony feszültségkezelést eredményez, így elkerülve a drágább hagyományos fejlesztéseket.



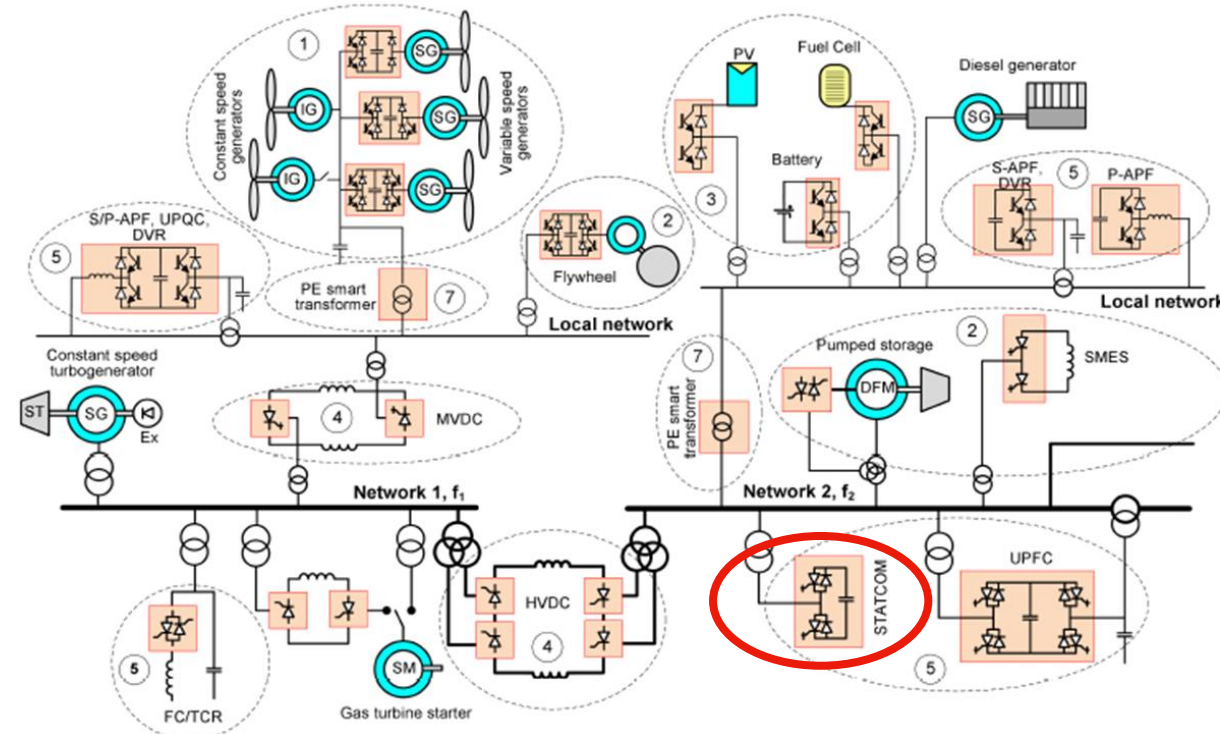
E.ON relevancia:

- Gyors és hatékony implementáció
- Alternatív hálózatfejlesztési megoldás
- Hálózati kapacitást szabadít fel

1 db10 MVA, 5x1,2% MV IVR



További lehetőségek FACTS eszközök alapján amelyekben gondolkodunk:



***Köszönöm a
figyelmet!***

Péter Gábor Mihály

gabor.peter1@eon-hungaria.com

e-on