

Állapotbecslés a kisfeszültségű elosztóhálózaton

Dr. Hartmann Bálint¹, Pintér László²

¹ MTA-BME Lendület FASTER Kutatócsoport

² E.ON DSO Hálózati Stratégiai Osztály

Energetikai Szakkollégium, 2021. április 8.



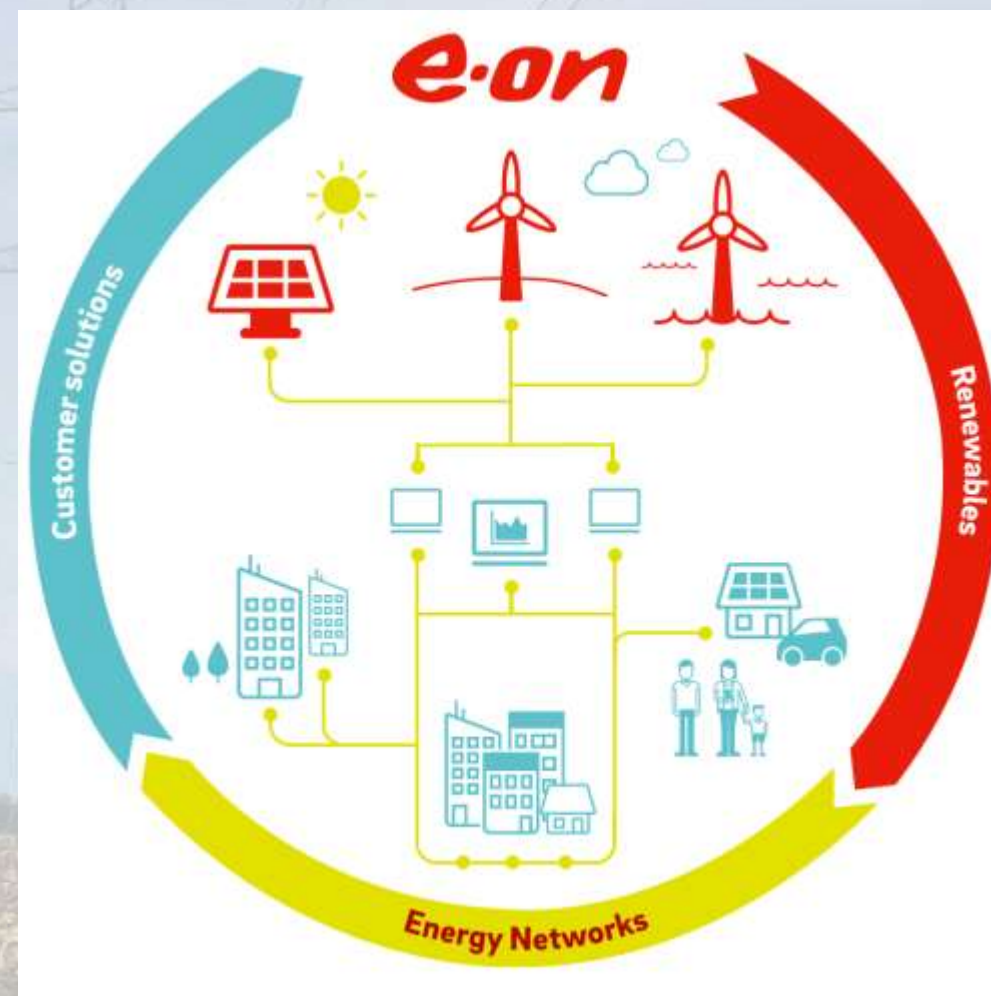
In memoriam



Prikler László
1962-2021

Állapotbecslés a kiefeszűltűgű elosztóhálózáton

- MTA Lendűlet program
- Állapotbecslés az átviteli hálózáton
- Állapotbecslés az elosztóhálózáton
- A projekt céljai
- Rendszererelemek



MTA Lendület program (2009 –)

- A Lendület program célja a hazai fiatal kutatóbázis erősítése nemzetközi szinten kimagasló teljesítményű kutatók és kiemelkedő fiatal tehetségek külföldről történő hazahívásával, illetve itthon tartásával.
- A Lendület program a kiválóság és a mobilitás együttes támogatására irányul, ennek megfelelően célja, hogy a befogadó kutatóhelyeken áttörő eredményeket ígérő kutatásokat végző kutatócsoportok számára biztosítson forrást.

MTA-BME Lendület FASTER Kutatócsoport

- 2017: BME FASTER Kiválósági Kutatócsoport
- Future Applications of Sustainable Transmission & distribution Energy Research
- „Célzott Lendület” – Kiemelkedő eredményességű alkalmazott (célzott) kutatásokat folytatók kategóriája



Állapotbecslés

Állapotbecslés (state estimation, SE)

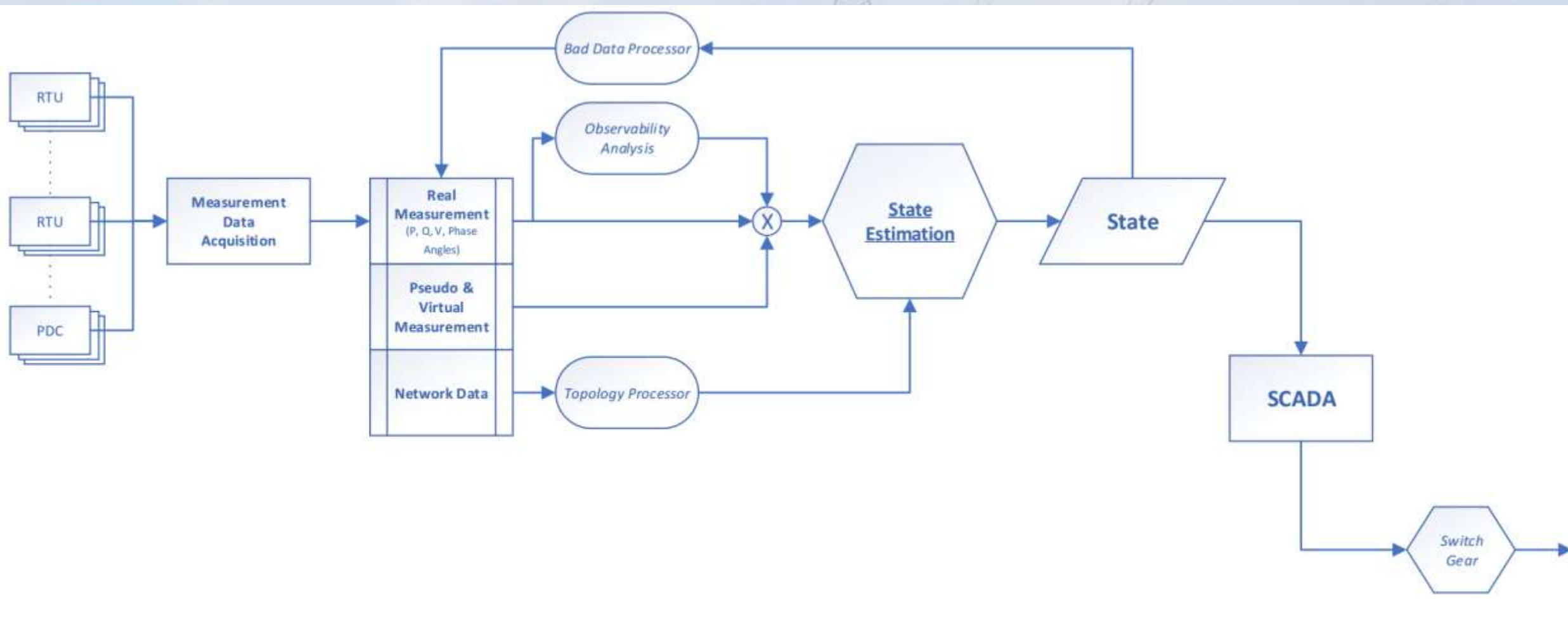
- Schweppe and Wildes: Power System Static-State Estimation (1970)
- A SCADA által gyűjtött mérések, állásjelzések alapján meghatározza az energiarendszer legvalószínűbb állapotát és a hálózatszámító szoftverek részére konzisztens adatbázist hoz létre.
 - A mérések általában hibával terheltek
 - Tendenciózus hiba esetén a SE gondoskodik annak elnyomásáról, kisúlyozásáról, helyes értékkel való helyettesítéséről



Állapotbecslés

- Rendelkezésre álló paraméterhalmaz → állapotbecslés
- Nagyobb mennyiségű adat → pontosabb becslés
- Állapotváltozók:
 - Egyértelműen meghatározzák az adott időpillanatban a rendszerünk állapotát (feszültségfázorok amplitúdója, szöge)
- Paraméterek:
 - Mért adatok (P , Q)
- Topológia:
 - A hálózat fizikai paraméterei (R , X)

Állapotbecslés



Állapotbecslés (Gauss-Newton algoritmus)

- Vektorok:
 - $\bar{z}$ - rendelkezésre álló paraméterhalmaz – mért adatok
 - $\bar{x}$ - állapotváltozók – rendszert meghatározó mennyiségek
 - $\overline{h(\bar{x})}$ - állapotváltozókból számított – mérhető adatok
- A cél:
 - $|\bar{z} - \overline{h(\bar{x})}|$ legyen minimális
- Súlyozás lehetősége: W

Állapotbecslés (Gauss-Newton algoritmus)

- Rendelkezésre áll: $\bar{z}$, $\bar{x}$, $\overline{h(\bar{x})}$, W
- Szükséges még: $\frac{\partial \overline{h(\bar{x})}}{\partial \bar{x}} = H(\bar{x})$ – Jacobi mátrix
- Így már:

$$G = H^T \cdot W \cdot H$$

$$\bar{s} = H^T \cdot W \cdot (\bar{z} - \bar{h})$$

$$G \cdot \Delta \bar{x} = \bar{s}$$

- Analógia: $f'(x_0) \cdot (x - x_0) \approx f(x) - f(x_0)$

Állapotbecslés (Gauss-Newton algoritmus)

- Megoldandó:

$$G \cdot \overline{\Delta x} = \bar{s}$$

- “Egyszerű”, de nem célravezető:

$$\overline{\Delta x} = G^{-1} \cdot \bar{s}$$

- Jó megoldás: Cholesky felbontás

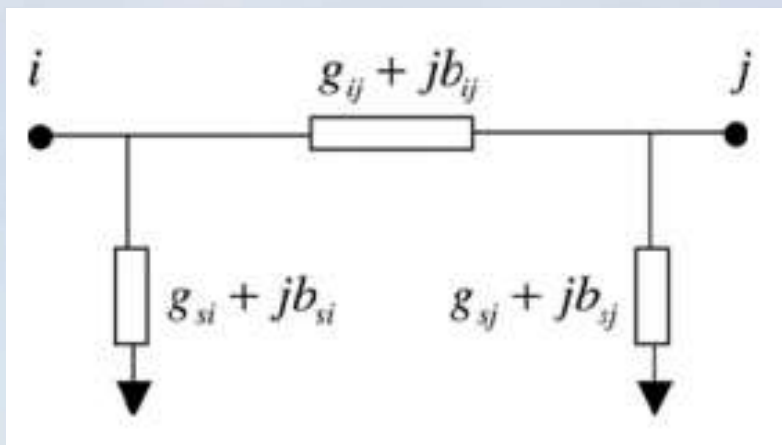
$$G = L \cdot L^T$$

$$L \cdot \overline{\Delta y} = \bar{s}$$

$$L^T \cdot \overline{\Delta x} = \overline{\Delta y}$$

Állapotbecslés (implementáció)

- Mérési eredmények:



$$\bar{z} = \begin{pmatrix} P_{01} \\ P_{02} \\ \vdots \\ P_{(m-2)(m-1)} \\ Q_{01} \\ Q_{02} \\ \vdots \\ Q_{(m-2)(m-1)} \end{pmatrix}$$

- Hatásos teljesítmény:

$$P_{km} = V_k^2 g_{km} - V_k V_m g_{km} \cos(\Theta_{km}) - V_k V_m b_{km} \sin(\Theta_{km})$$

- Meddő teljesítmény:

$$Q_{km} = -V_k^2 b_{km} + V_k V_m b_{km} \cos(\Theta_{km}) - V_k V_m g_{km} \sin(\Theta_{km})$$

Állapotbecslés (implementáció)

- Súlyozás esetén:

$$W = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_{P_{01}}^2} & & \dots & & 0 \\ & \frac{1}{\sigma_{P_{02}}^2} & & & \\ & & \ddots & & \\ \vdots & & & \frac{1}{\sigma_{P_{(m-2)(m-1)}}^2} & \vdots \\ & & & \frac{1}{\sigma_{Q_{01}}^2} & \\ & & & & \frac{1}{\sigma_{02}^2} & \ddots \\ 0 & & \dots & & & \frac{1}{\sigma_{Q_{(m-2)(m-1)}}^2} \end{pmatrix}$$

Állapotbecslés (implementáció)

- Állapotváltozók vektora:

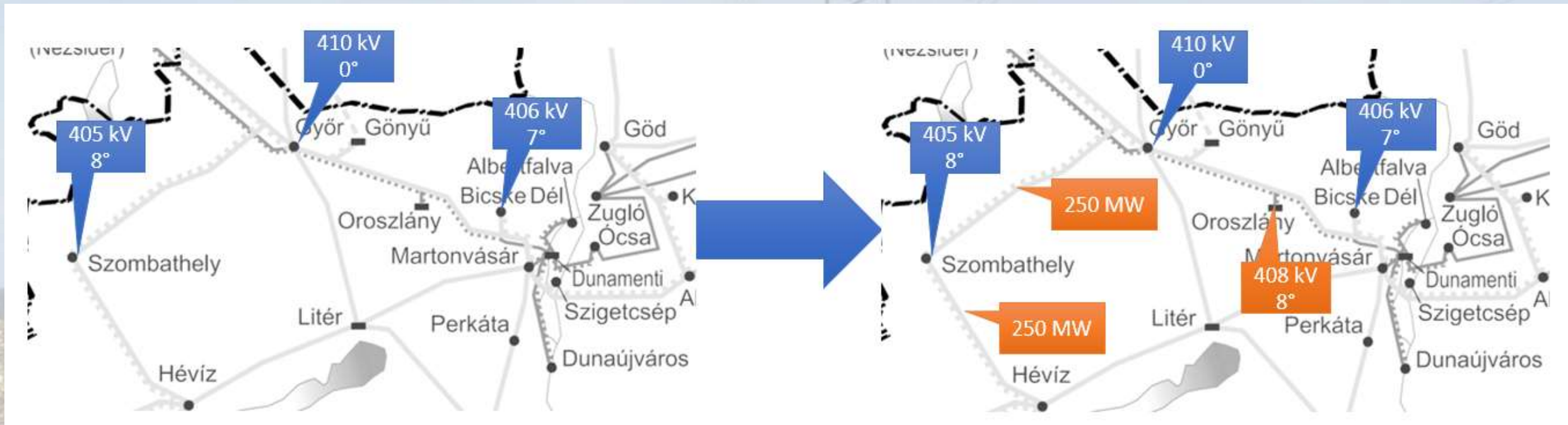
$$\bar{x} = (\theta_0 \quad \theta_1 \quad \dots \quad \theta_{m-1} \quad V_0 \quad V_1 \quad \dots \quad V_{m-1})$$

- Jacobi-mátrix:

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial P_{01}}{\partial \theta_0} & \frac{\partial P_{01}}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial P_{01}}{\partial \theta_{m-1}} & \frac{\partial P_{01}}{\partial V_0} & \frac{\partial P_{01}}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial P_{01}}{\partial V_{m-1}} \\ \frac{\partial P_{02}}{\partial \theta_0} & \frac{\partial P_{02}}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial P_{02}}{\partial \theta_{m-1}} & \frac{\partial P_{02}}{\partial V_0} & \frac{\partial P_{02}}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial P_{02}}{\partial V_{m-1}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_{(m-2)(m-1)}}{\partial \theta_0} & \frac{\partial P_{(m-2)(m-1)}}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial P_{(m-2)(m-1)}}{\partial \theta_{m-1}} & \frac{\partial P_{(m-2)(m-1)}}{\partial V_0} & \frac{\partial P_{(m-2)(m-1)}}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial P_{(m-2)(m-1)}}{\partial V_{m-1}} \\ \frac{\partial Q_{01}}{\partial \theta_0} & \frac{\partial Q_{01}}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial Q_{01}}{\partial \theta_{m-1}} & \frac{\partial Q_{01}}{\partial V_0} & \frac{\partial Q_{01}}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial Q_{01}}{\partial V_{m-1}} \\ \frac{\partial Q_{02}}{\partial \theta_0} & \frac{\partial Q_{02}}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial Q_{02}}{\partial \theta_{m-1}} & \frac{\partial Q_{02}}{\partial V_0} & \frac{\partial Q_{02}}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial Q_{02}}{\partial V_{m-1}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_{(m-2)(m-1)}}{\partial \theta_0} & \frac{\partial Q_{(m-2)(m-1)}}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial Q_{(m-2)(m-1)}}{\partial \theta_{m-1}} & \frac{\partial Q_{(m-2)(m-1)}}{\partial V_0} & \frac{\partial Q_{(m-2)(m-1)}}{\partial V_1} & \dots & \frac{\partial Q_{(m-2)(m-1)}}{\partial V_{m-1}} \end{pmatrix}$$

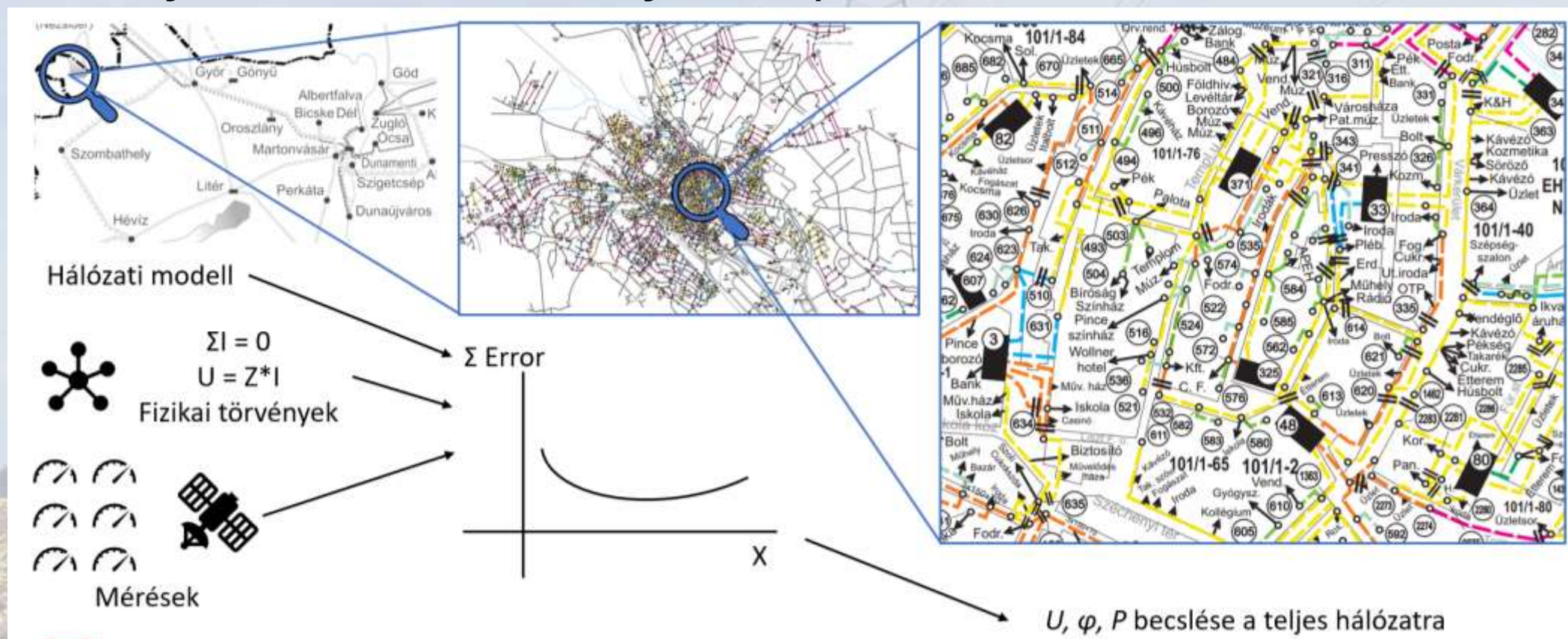
Állapotbecslés az átviteli hálózaton

- Topológia
- Mérési adatok (SCADA)
- Rendszerállapot **számítása**
- Teljes, konzisztens reprezentáció

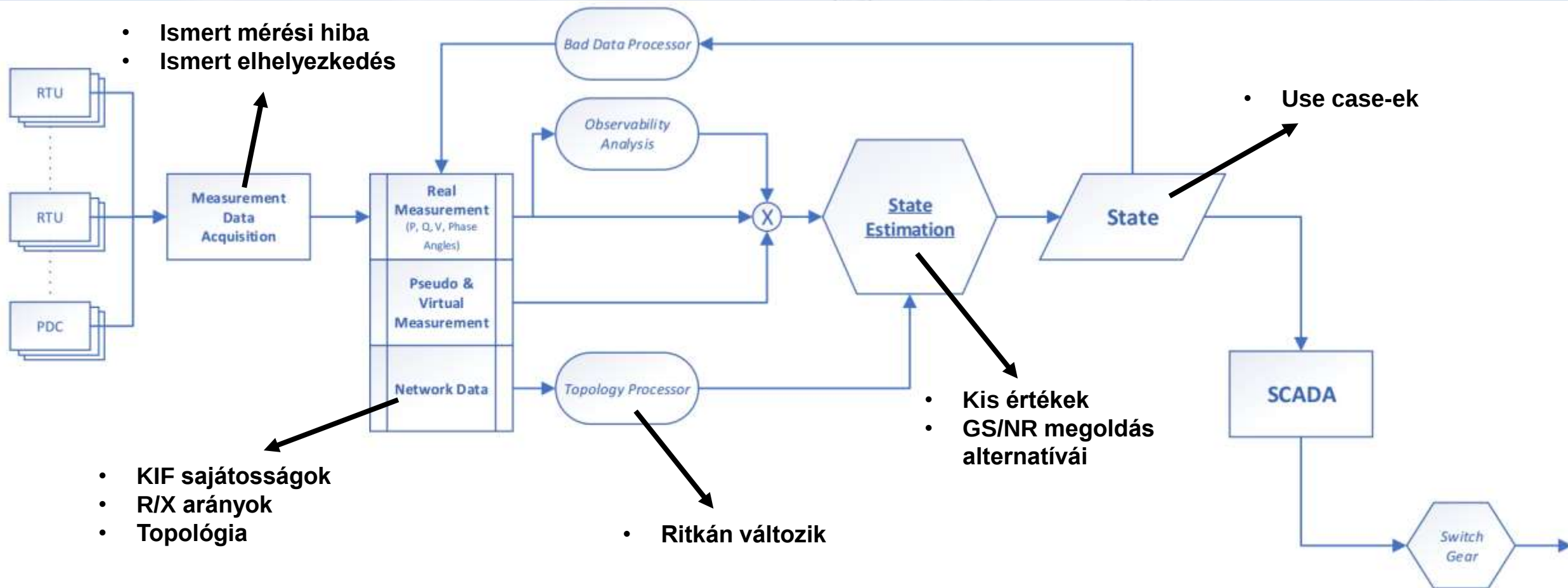


Állapotbecslés az elosztóhálózaton

- 80 000 km kiefeszültségű hálózat
- Valós idejű információ szinte teljes hiánya



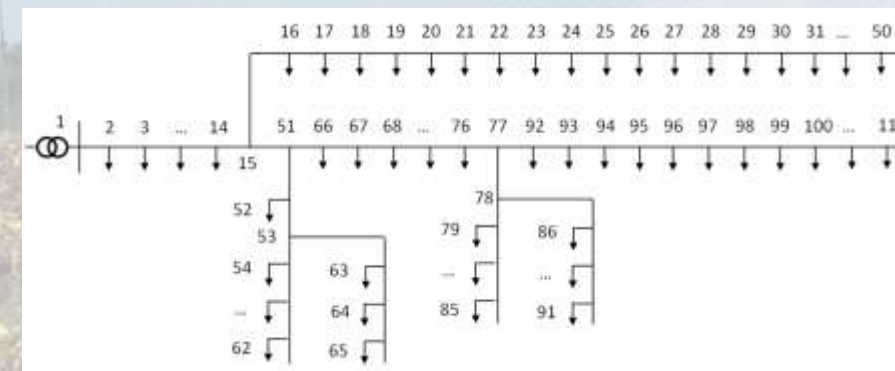
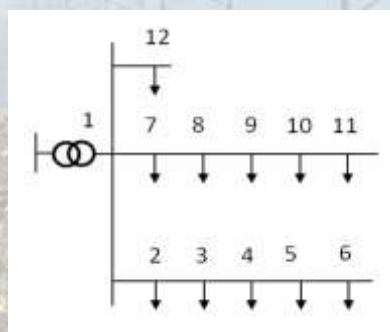
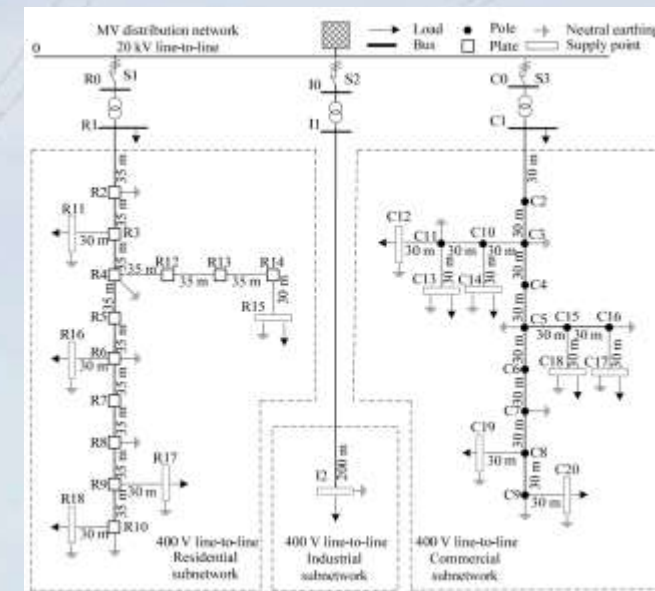
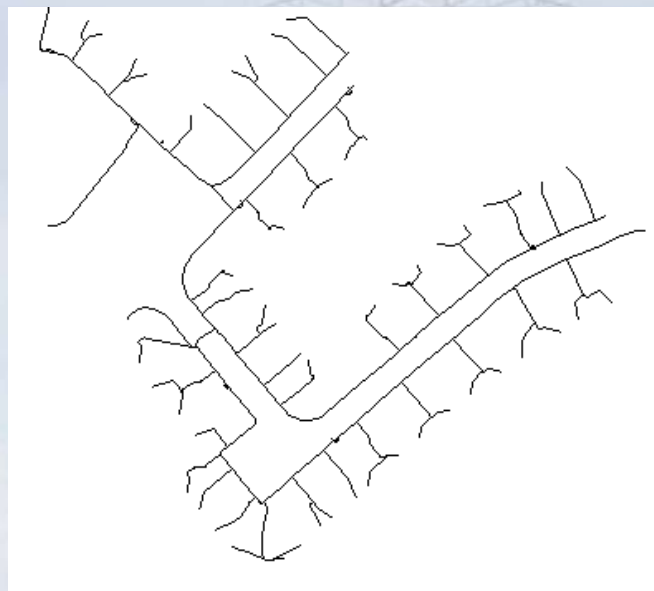
Állapotbecslés az elosztóhálózaton



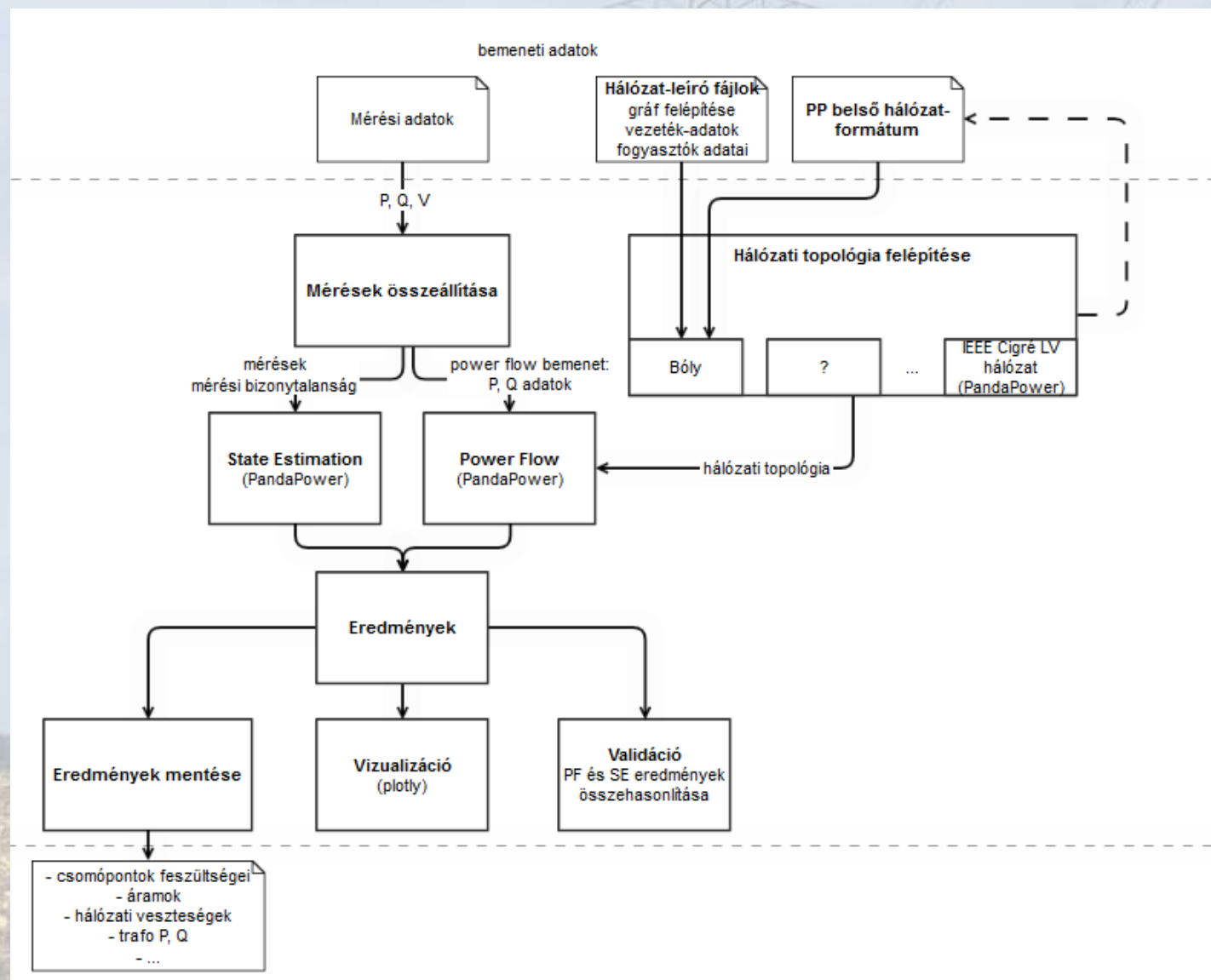
Állapotbecslés a KIF elosztóhálózaton

- Szakirodalmi forrásokban is alacsony a KIF hálózatok aránya
 - CIGRÉ LV European
 - IEEE LV European
 - JRC LV urban, semi-urban
 - Magyar RNM

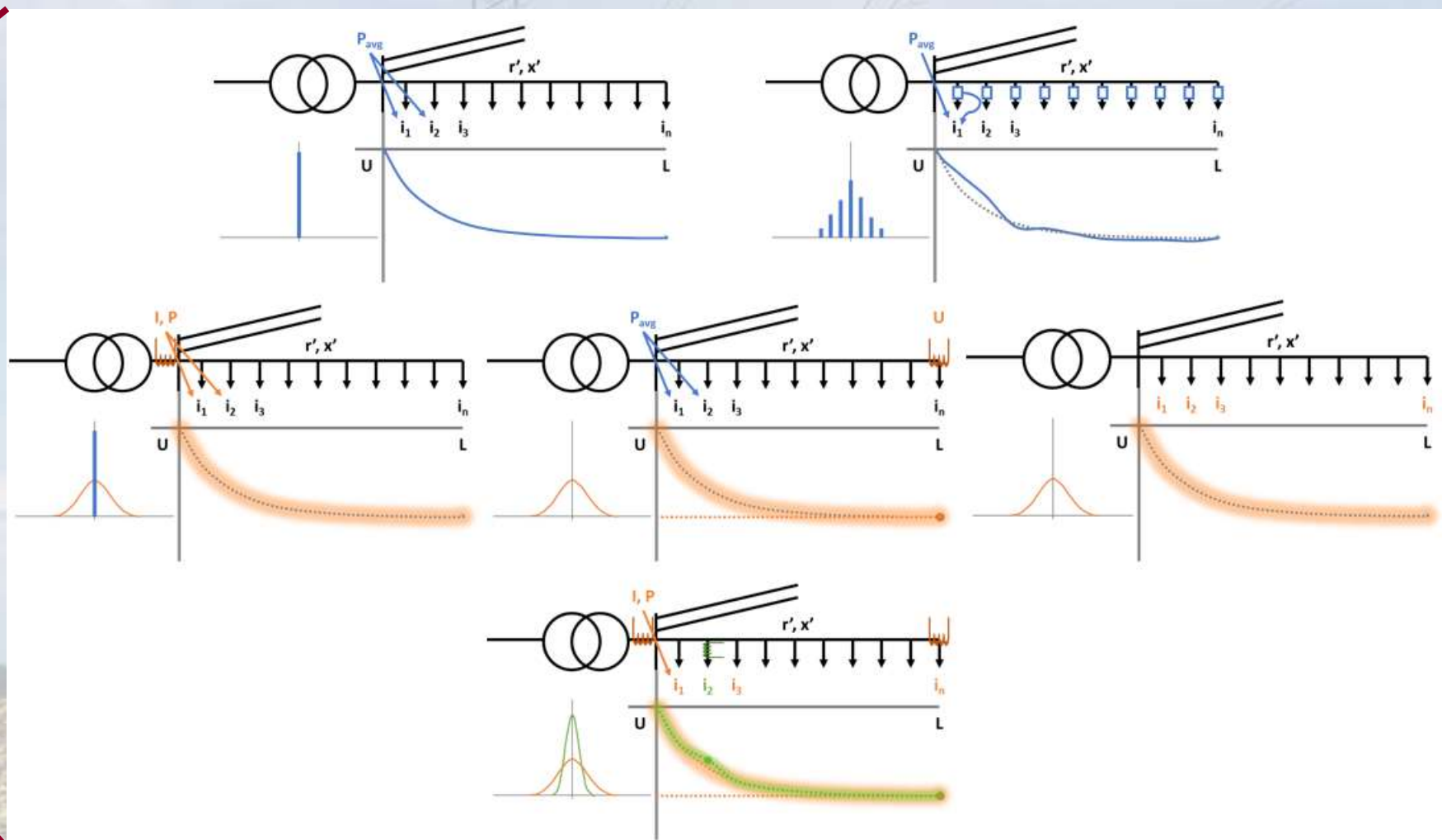
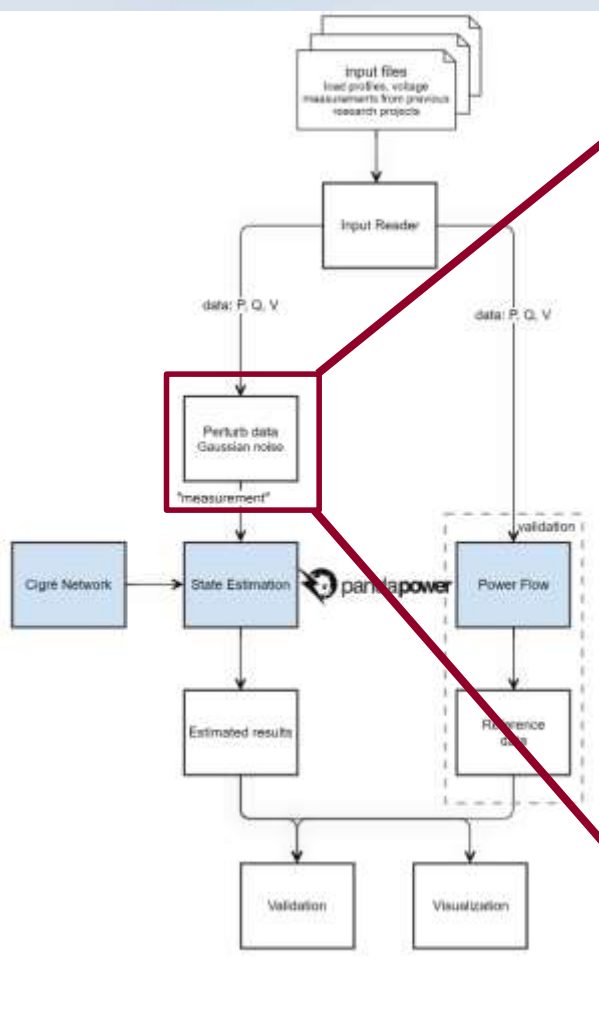
IEEE MV (13, 33, 34, 36, 37, 69, 123 bus) 69	IEEE HV (4, 14, 24, 39, 118, 300 bus) 62	MV 38	IEEE HV/MV (30, 57 bus) 29
		LV 20	HV 5



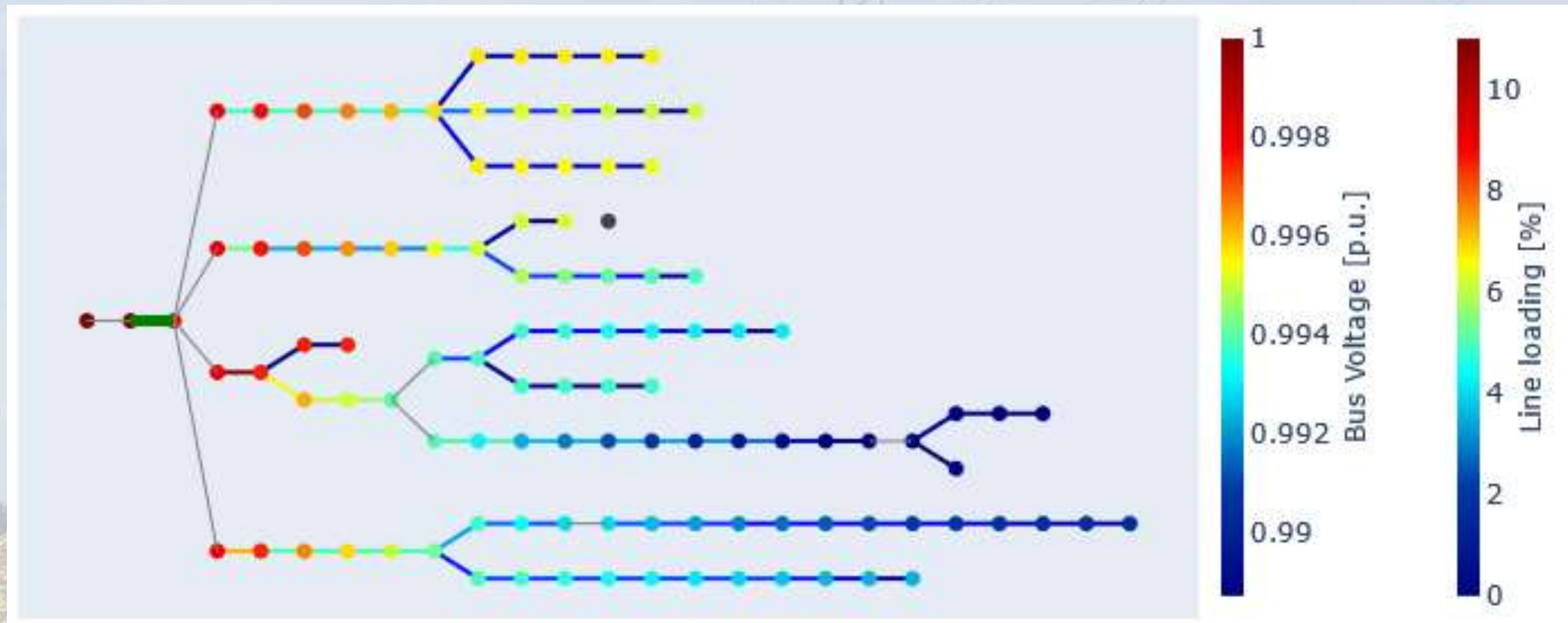
Az állapotbecslő architektúra



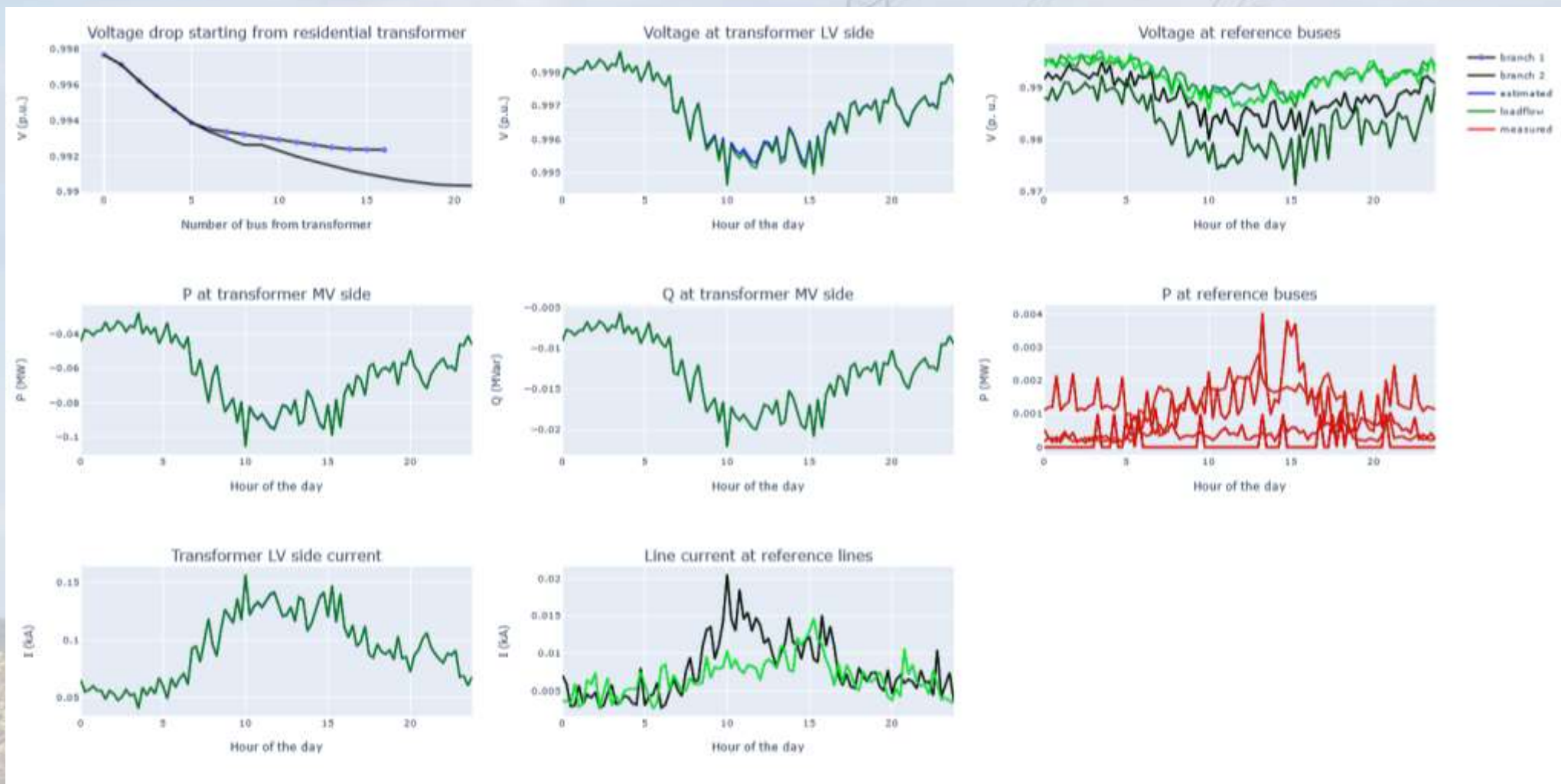
Az állapotbecslő algoritmus



Az állapotbecslő algoritmus

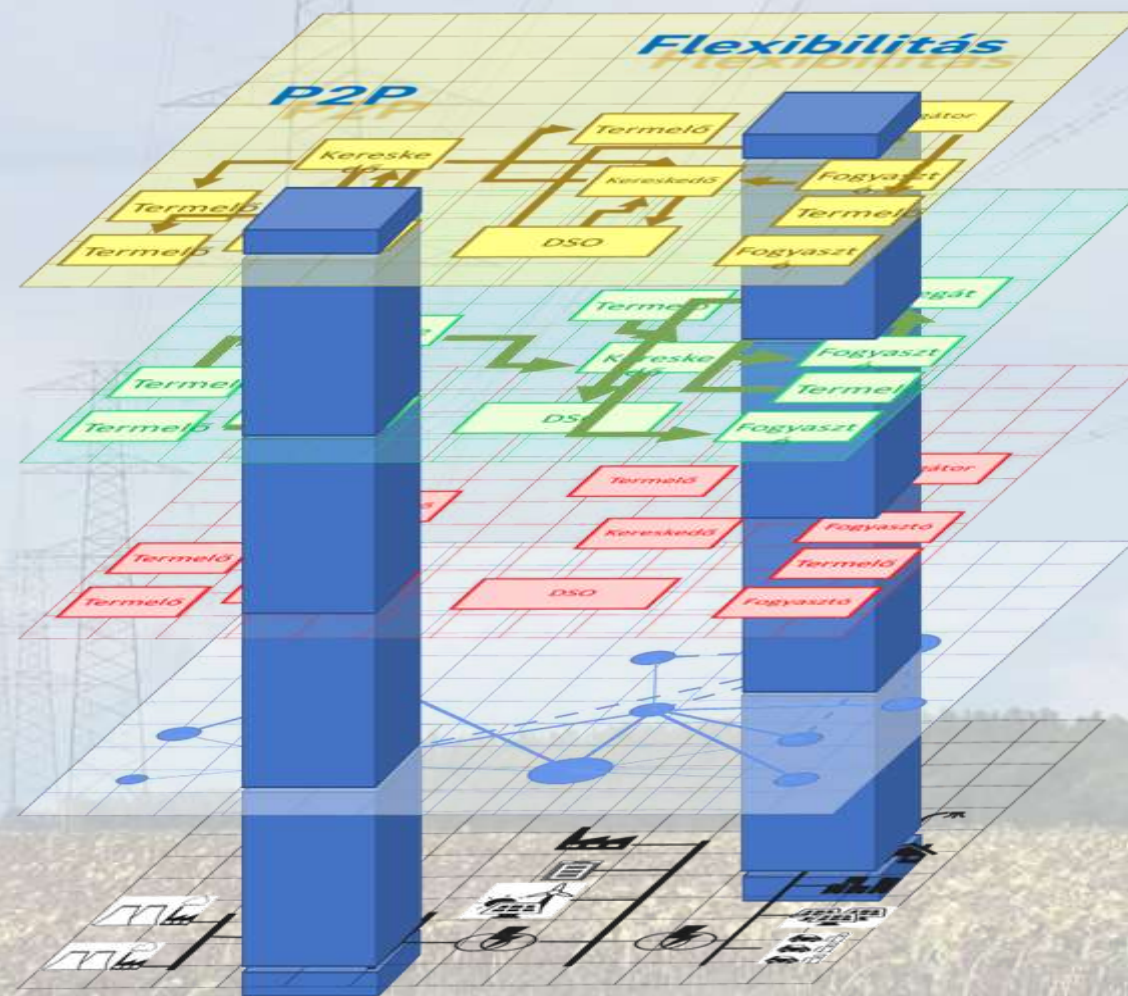


Az állapotbecslő algoritmus



A projekt céljai

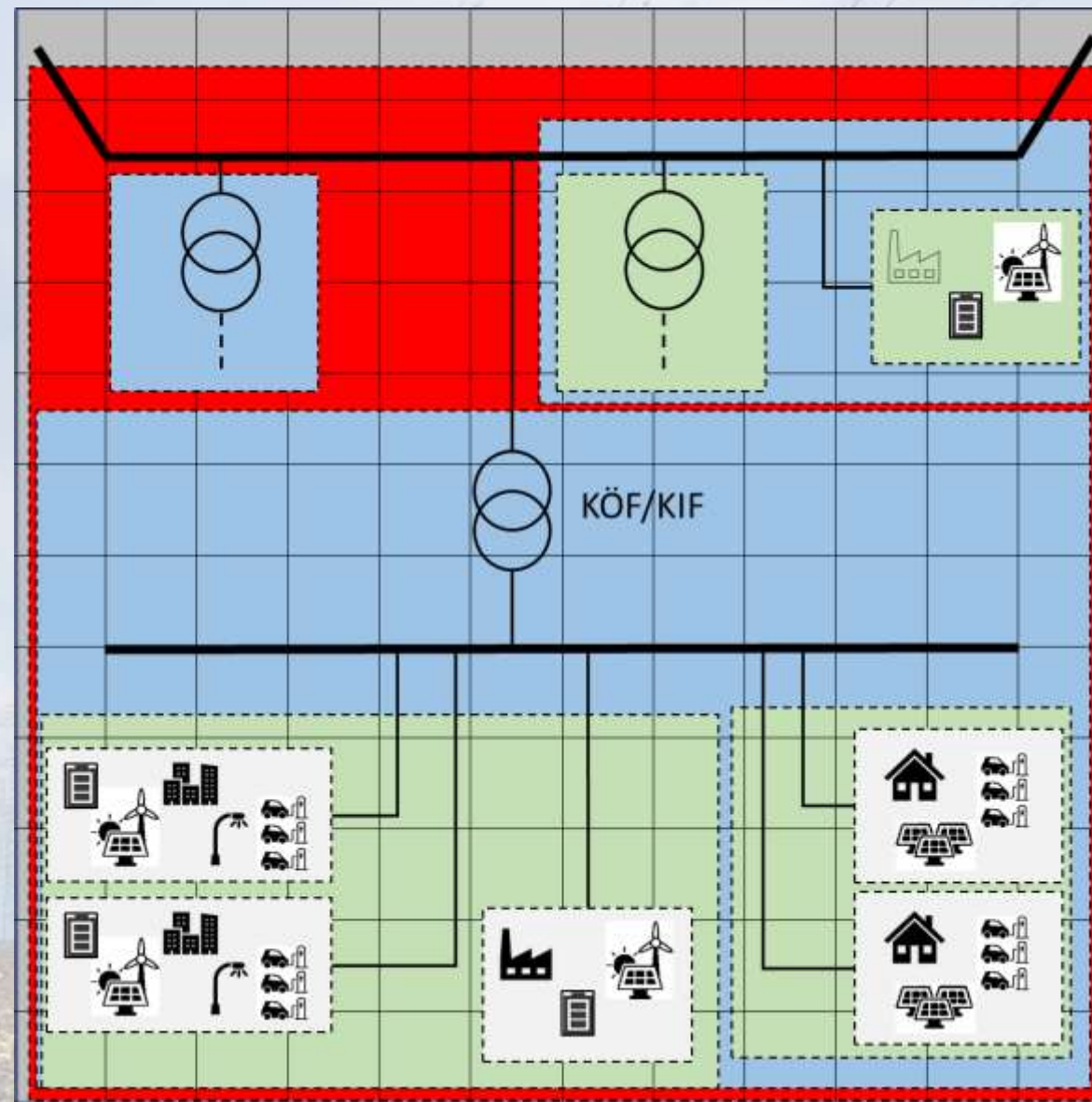
Mikor költjük el jól a ma pénzét a jövő energiahálózatra?



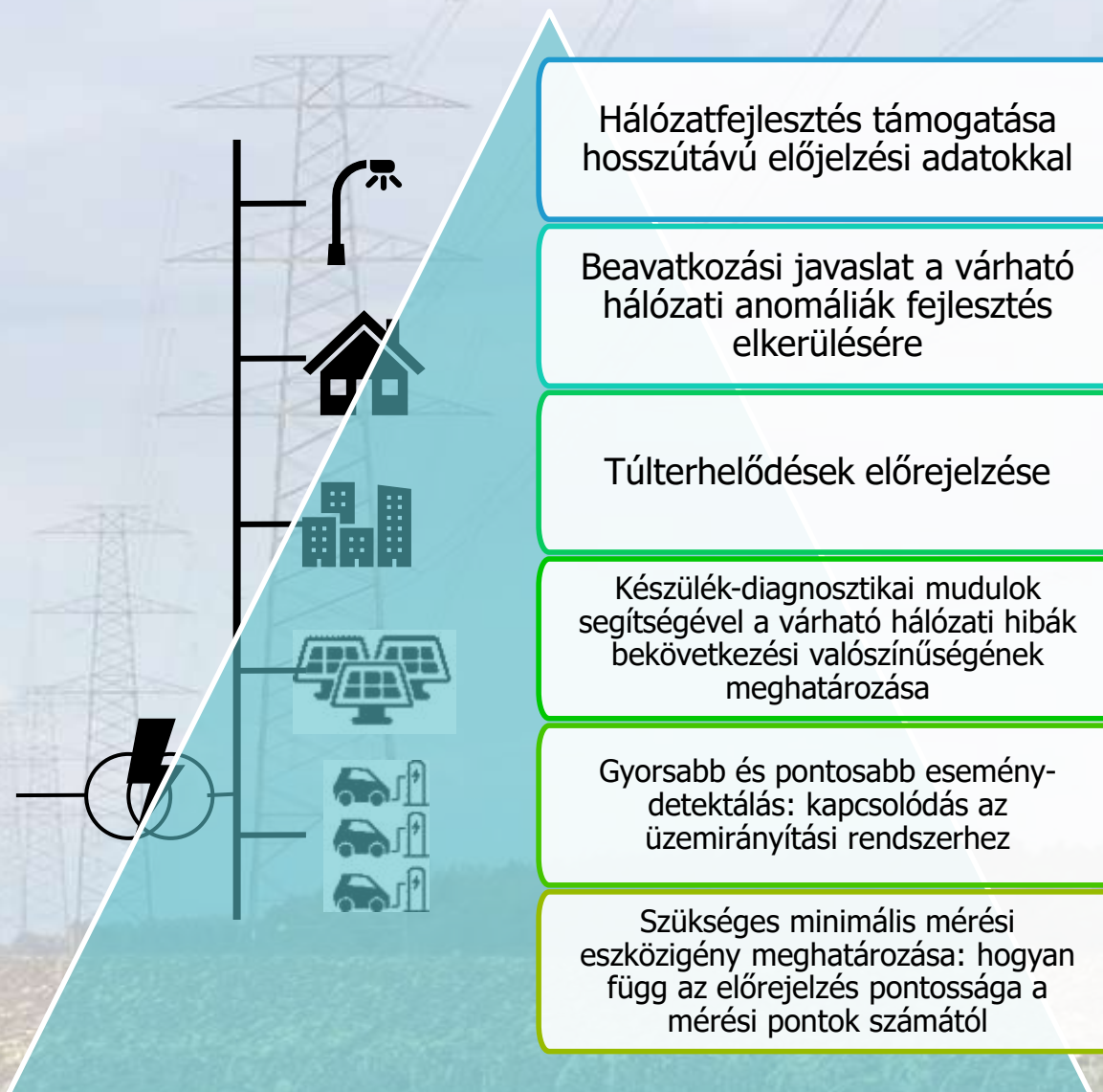
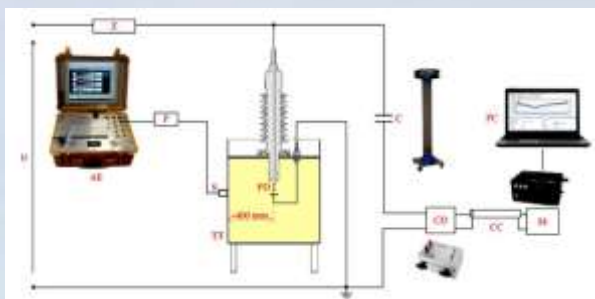
Elosztóhálózat = illeszkedő mikrogridek halmaza

Feladatok:

- Hálózati állapot monitorozása
- Készülékek terhelhetőségének meghatározása
- Környezeti jellemzők figyelése
- Hálózati állapot előrejelzése
- Alsóbb szintek igényeinek kiszolgálása
- Nem feldolgozott igények továbbítása a felsőbb szintek irányába



Állapotbecslésre alapuló feladatok a mikrogridekben



A projekt céljai

- Állapotbecslő algoritmuson alapuló KIF hálózati előrejelző és irányító megoldás létrehozása, annak gyakorlatban, valós E.ON környezetben történő sikeres alkalmazása

Description	Start	End	Timeline																																				
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	
Work Package 1: DSSE tool and add-ons	M1	M24																																					
Task 1.1: Comparison of SE algorithms, difference between TSO and DSO applications	M1	M6																																					
Task 1.2: Development of DSSE algorithms, adaptation to selected DSO demonstration	M3	M15																																					
Task 1.3: Comparison of scenarios with various quality and quantity of measurements	M13	M18																																					
Task 1.4: Advanced event detection validation	M13	M24																																					
Task 1.5: Data analytics add-on	M7	M18																																					
Task 1.6: Add-on for utilisation of weather data	M13	M24																																					
Work Package 2: Extension modules for DSSE	M1	M36																																					
Task 2.1: IACMS module	M1	M24																																					
Task 2.2: Dispatch module for demand-side management and electric vehicle charging	M13	M30																																					
Task 2.3: Upgrade module	M25	M36																																					
Work Package 3: IT implementation and demonstration	M1	M36																																					
Task 3.1: IT architecture planning, data connections and integration	M1	M12																																					
Task 3.2: Demonstration area analysis and proof-of-concept roadmap	M13	M24																																					
Task 3.3: Cost-benefit analysis for evaluating the added value of the developed modules	M25	M36																																					

Use case lista

Mérőeszközök, szenzorok

- KIF SE pontosságának függése a valós idejű mérési pontok számától
- A use case-ek kiszolgálásához szükséges minimális mérési infrastruktúra igény

Szolgáltatásminőség

- Gyorsabb, pontosabb eseménydetektálás a szolgáltatásminőségi mutatók javítására

Időjárási adatok felhasználása

- Helyi túlterhelés, szűkület előrejelzése
- Helyi termeléselőrejelzés
- Riasztás extrém időjárás esetén

Use case lista

IACMS

(Integrated Asset Condition Management System)

- Hiba előrejelző modul kábeldiagnosztikához
- Kábeltípusok, fektetési módszerek elemzése
- KÖF/KIF transzformátor lehetséges túlterhelés számítása

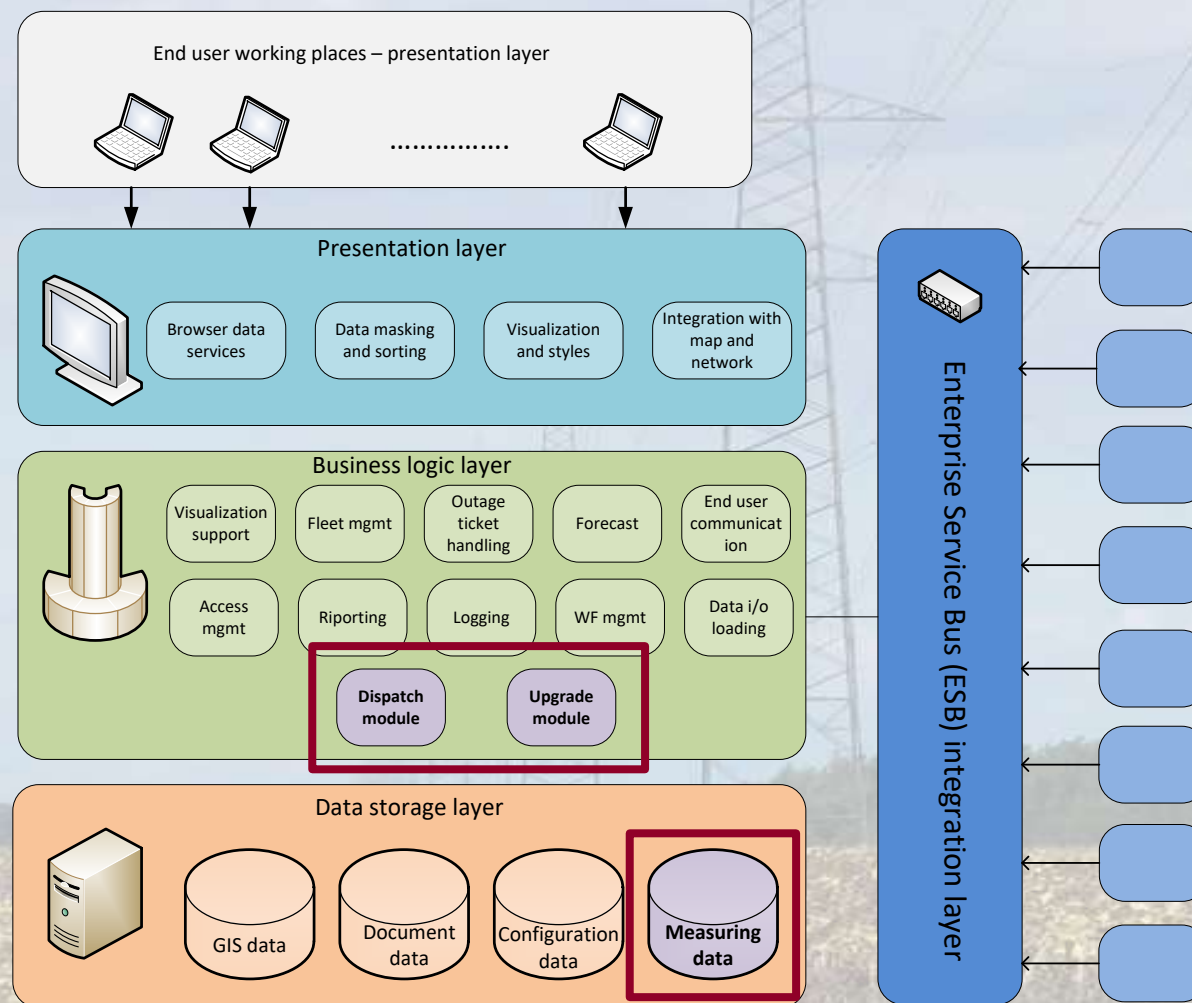
Célzott vezérlés

- ÚJ DSM megoldások feltérképezése (új HKV/RKV célfüggvények)
- Elektromos autók bevonása árvezérelt forgalomszabályozás eszközeivel
- SE felkészítése a feszültségszabályozásra alkalmas eszközök (OLTC, IVR, inverter droop) befogadására

Hálózatfejlesztés

- Jobb minőségű forrásadat szolgáltatása a hálózatfejlesztési tanulmányokhoz
- Folyamatos monitoring a fejlesztést kiváltó okok azonosítására
- Mérő- és szenzoradatok közvetlen felhasználása

Integráció



Rendszerelemek

Adatelemzés

- Cél: meglévő és újonnan keletkező adatkörök hasznosításának kidolgozása

U1

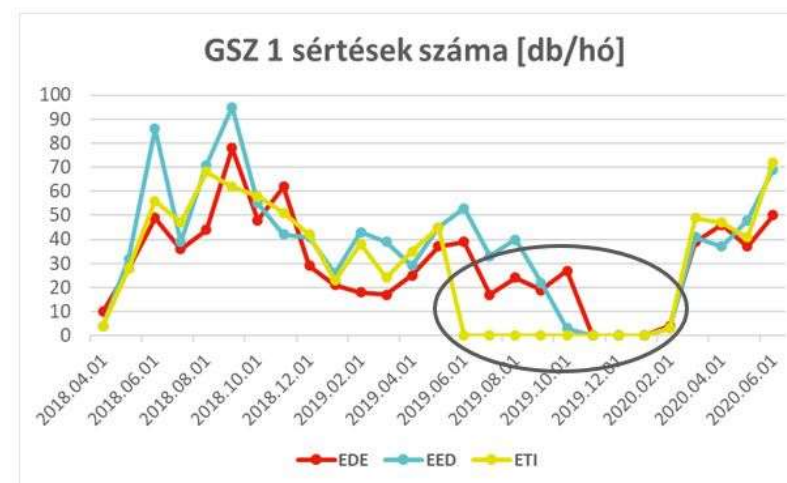
- Smart mérők és DSSE eredmények hasznosítása profilozáshoz

U2

- Garantált szolgáltatás sértések vizsgálata a KIFÜR-ben

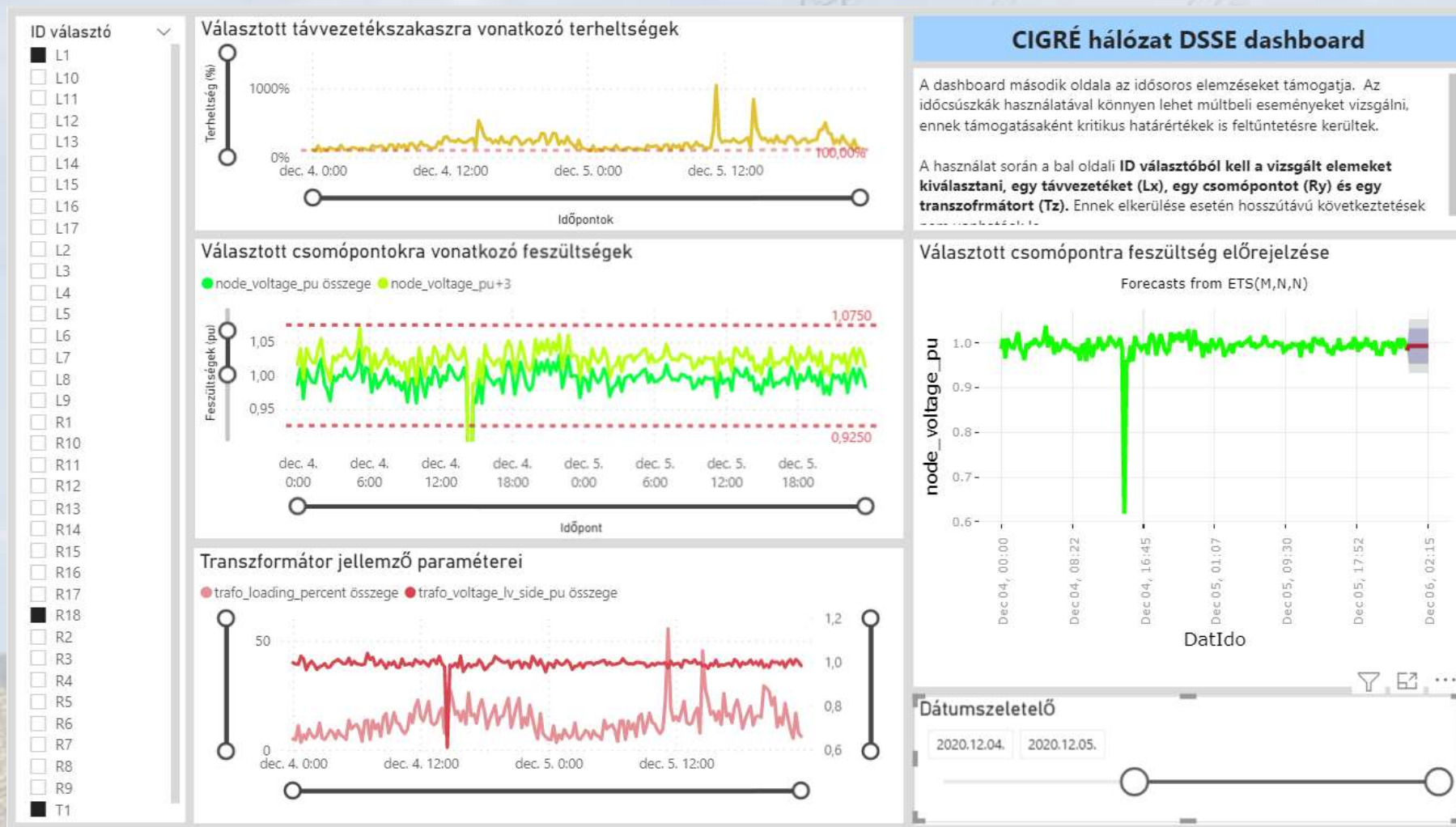
U3

- Az operátori beavatkozások hatásainak vizuális megjelenítése

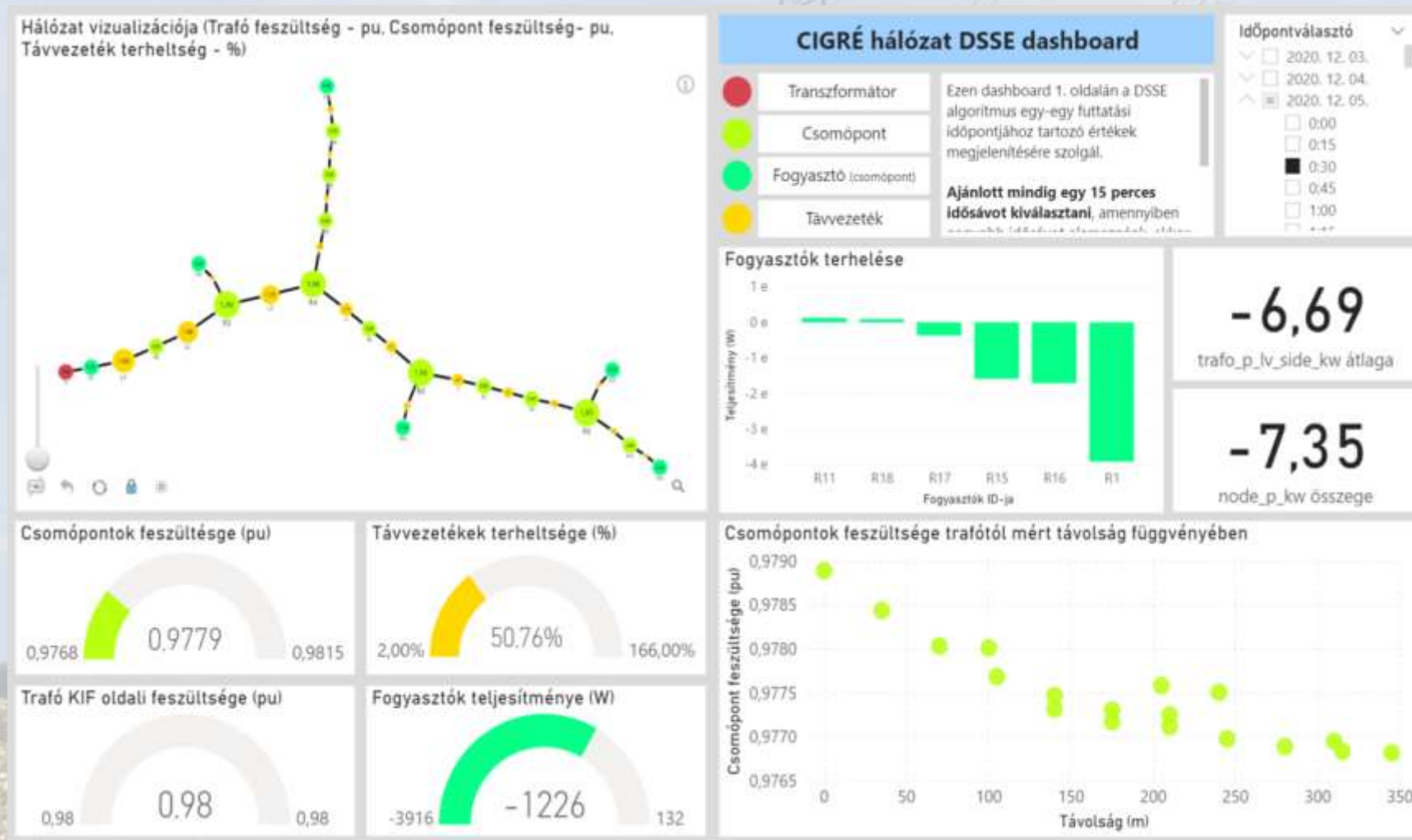


A három vállalatnál havi bontásban esedékes GSZ 1 sértések időbeli eloszlása hasonló jelleget mutat. 2019. második felétől 2020 február végéig az SAP rendszerből ellátásmegszakadásra vonatkozó adatközlés hiányzott.

Adatelemzés

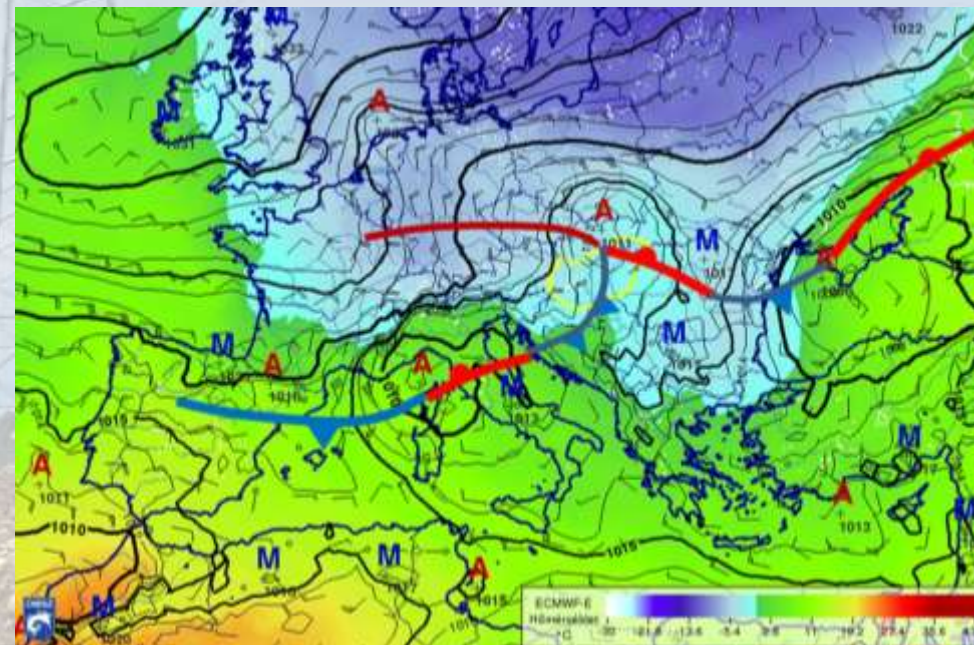


Adatelemzés



Időjárási adatok felhasználása

- Cél:
 - Időjárási adatok szerepének azonosítása az üzemzavari esemény detektálási/előrejelzési folyamatban
 - Időjárási adatok térbeli-időbeli kapcsolatainak modellezése, a lokális hálózat üzemvitelt hatékonyan támogató felbontás azonosítása

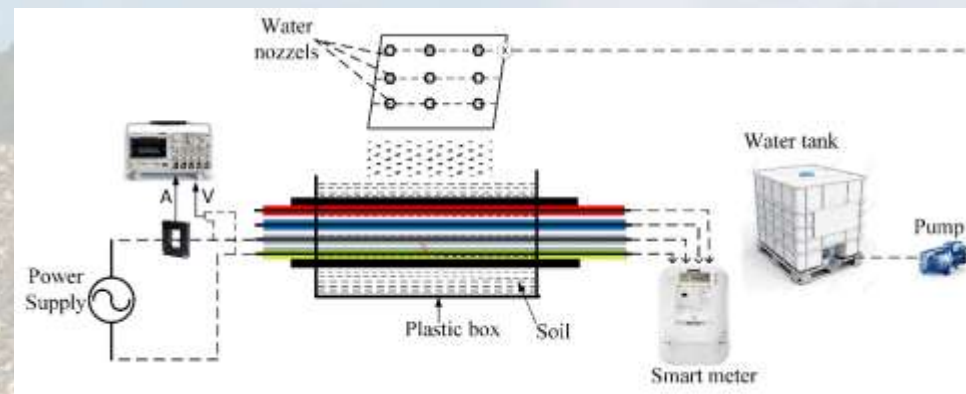
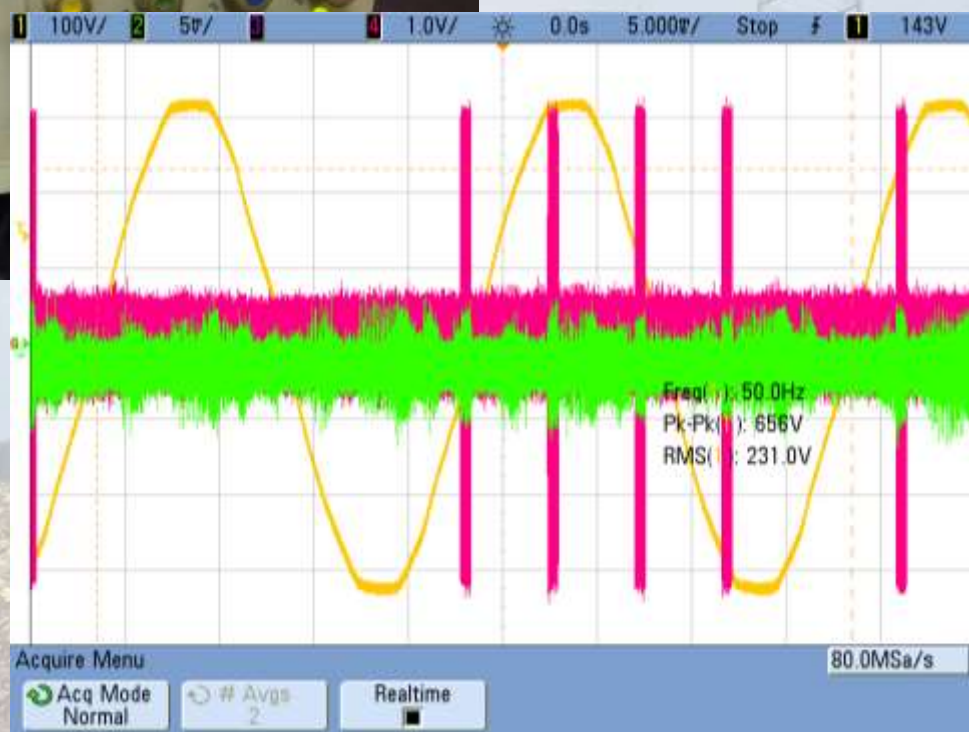
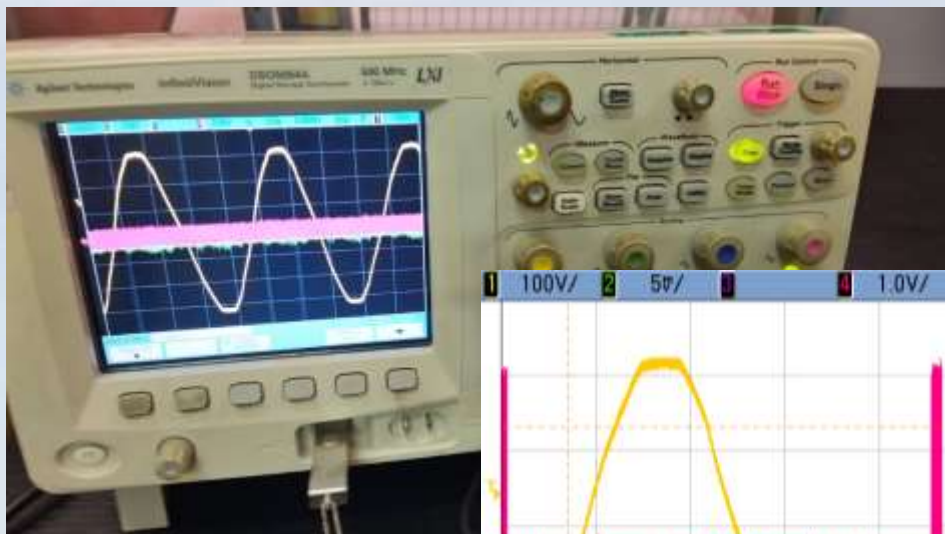


Eszközmenedzsment – kábelek

- Cél: KIF kábel állapot értékelés, fektetési módszerek vizsgálata
- Nemzetközi gyakorlati tapasztalatok:
 - Nincs generikus stratégia
 - Problémás helyszíneken egyedi mérési módszerek
- Átalakuló fogyasztási profilok
 - Napelemek, e-mobilitás
 - Döntően azonnali hatások (GSZ sértés, termikus problémák)
 - Nincs fókuszban a gyorsuló öregedés

Eszközmenedzsment – kábelek

- Cél: diagnosztika

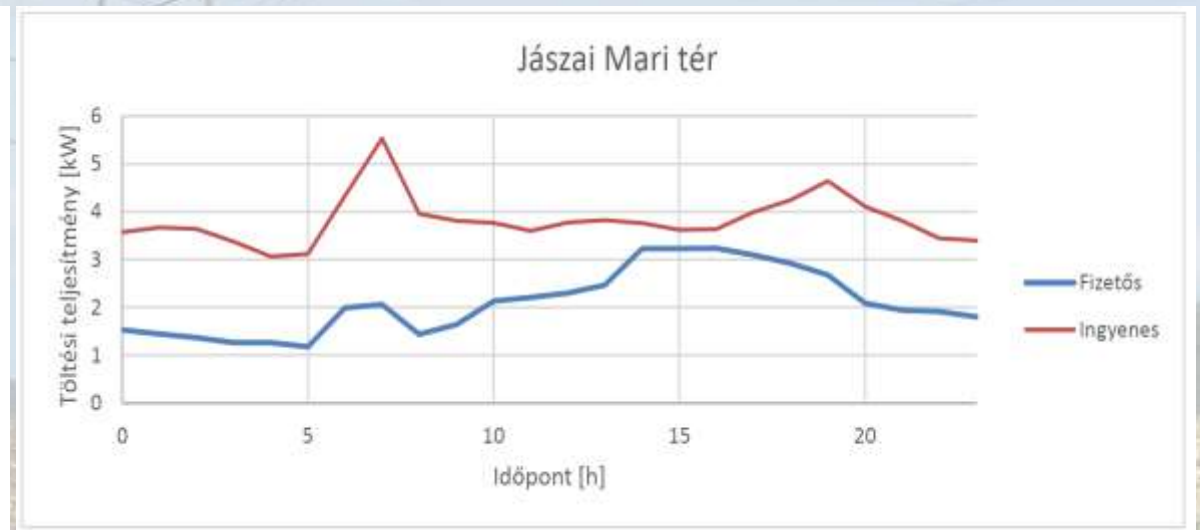
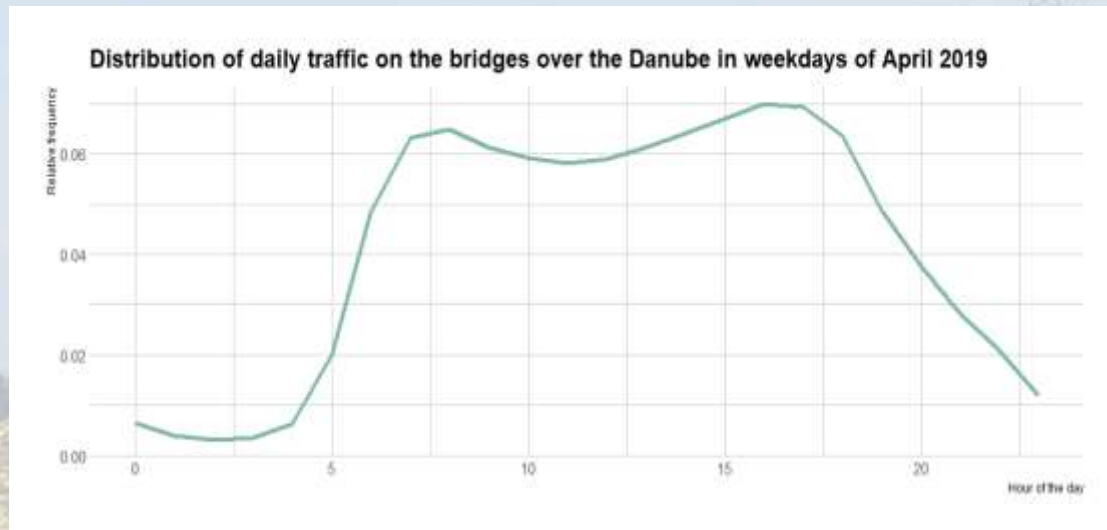


Eszközmenedzsment – transzformátorok

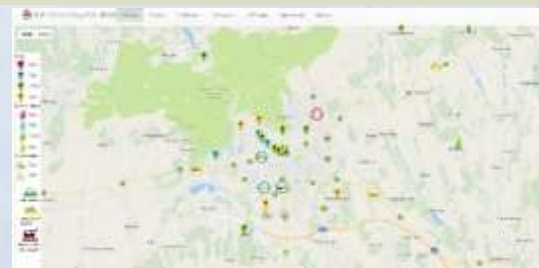
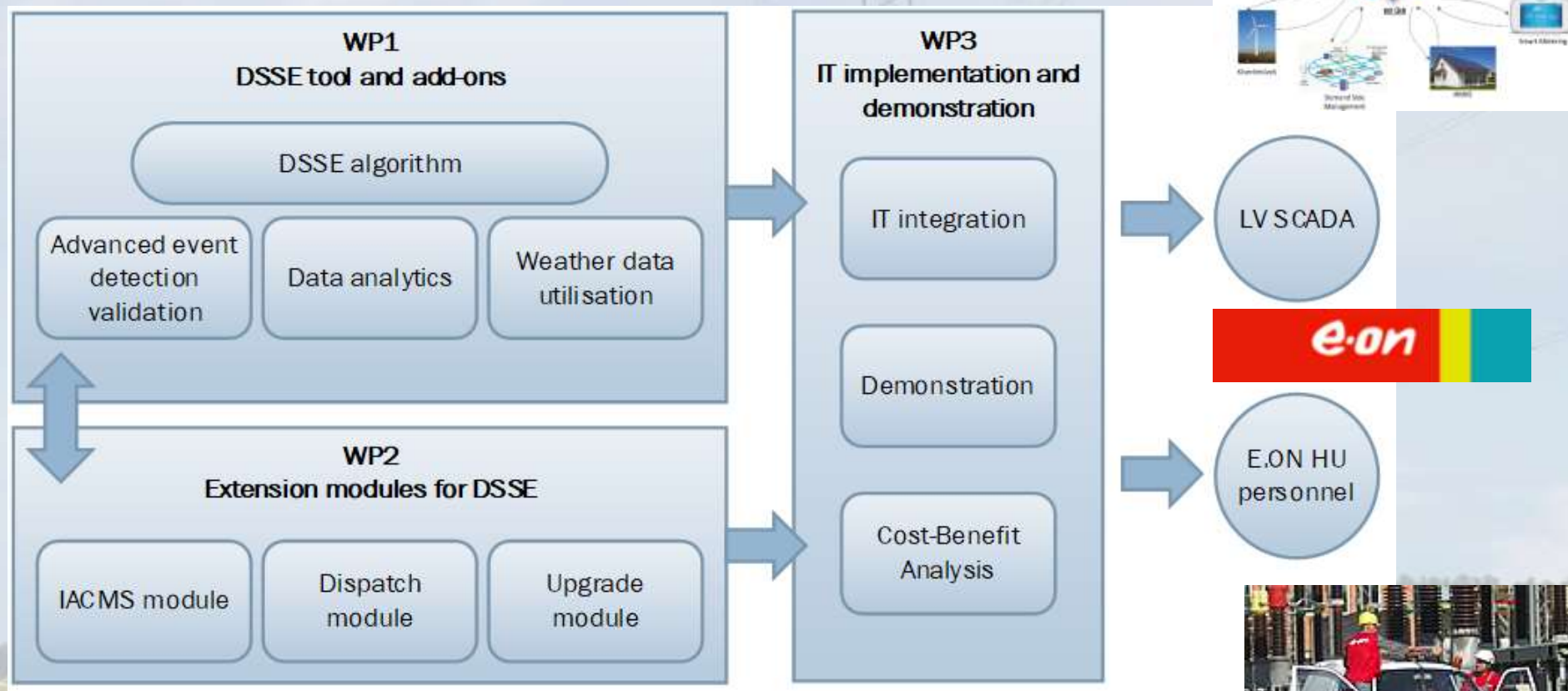
- Cél: KÖF/KIF transzformátor üzemeltetés támogatása
- A termikus modell ismert
 - Megfelelő paraméterezés kritikus
- Diagnosztikai paraméterek
 - Nedvességtartalom
 - Öregedés sebessége, buborékolás határhőmérséklete
- A fentiek alapján értékelhető
 - Az esetleges túlterhelési állapot veszélyessége
 - Az élettartam veszteség sebessége

Célzott vezérlés

- Cél:
 - Hőátvitel vezérelt fogyasztók modellezése, az eredmények DSSE folyamatba való becsatornázása
 - Elektromos járművek, publikus töltőoszlopok hálózati hatásainak modellezése, felhasználói mintázatok azonosítása



Integració



Credit where it is due...



Köszönjük a figyelmet!

hartmann.balint@vet.bme.hu

MTA-BME Lendület FASTER Kutatócsoport