



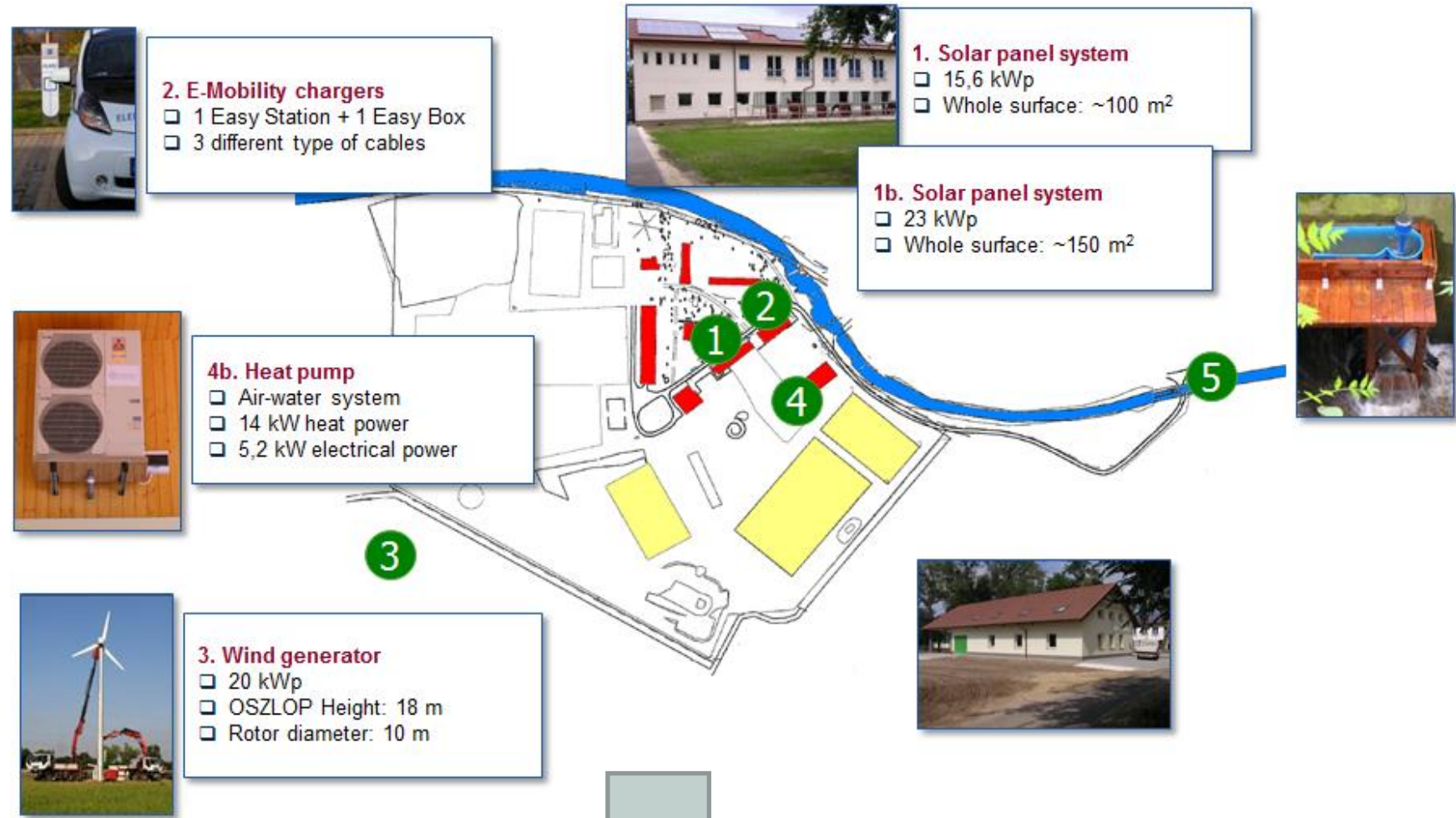
Az energiatárolás alkalmazásai, különös tekintettel az elosztóhálózatokra

Táczai István

Az elosztóhálózatok gyökeresen megváltoznak a közeljövőben: a növekvő megújuló penetráció hatására a termelés elosztottá és időjárásfüggővé válik. Ez a folyamat számos új műszaki kihívás elé állítja a hálózat üzemeltetőit. Kétirányú energiaáramlások, feszültségminőségi problémák és kimaradások jelentkeznek, ha a tervezés és irányítás nem áll proaktívan a kérdéshez.

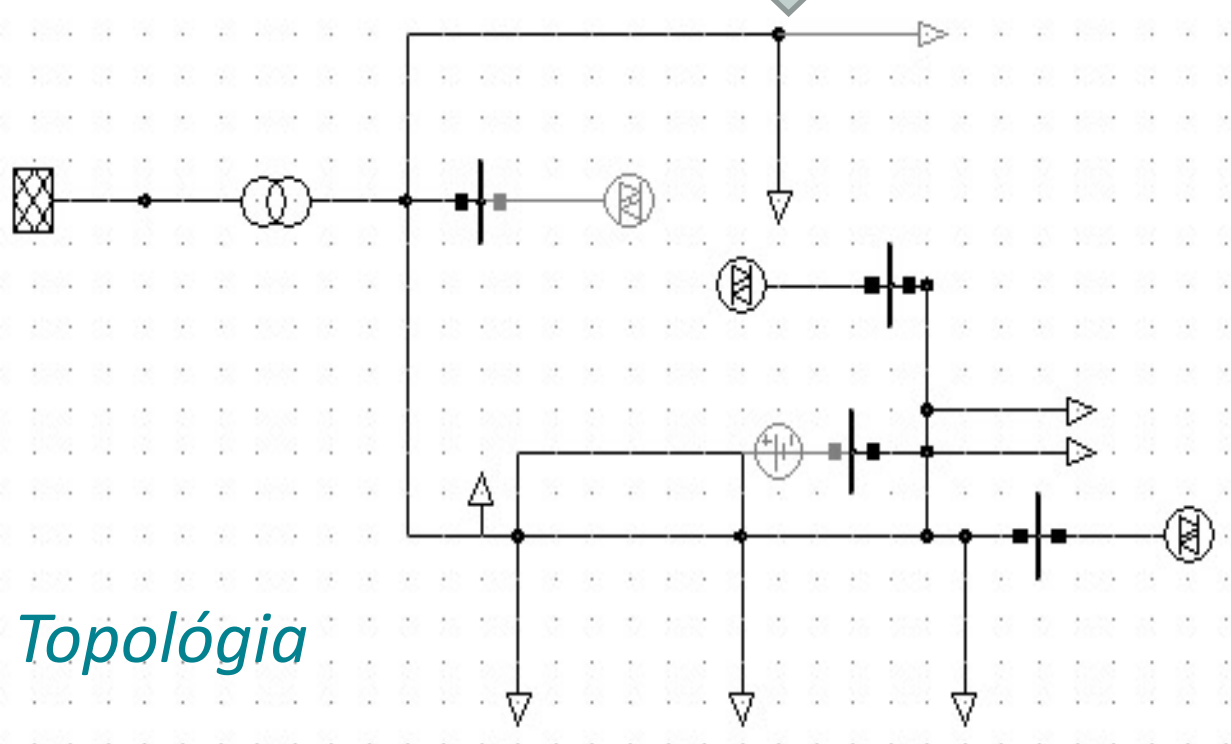
Modellezési eljárás

Demonstrációs hálózat elemei

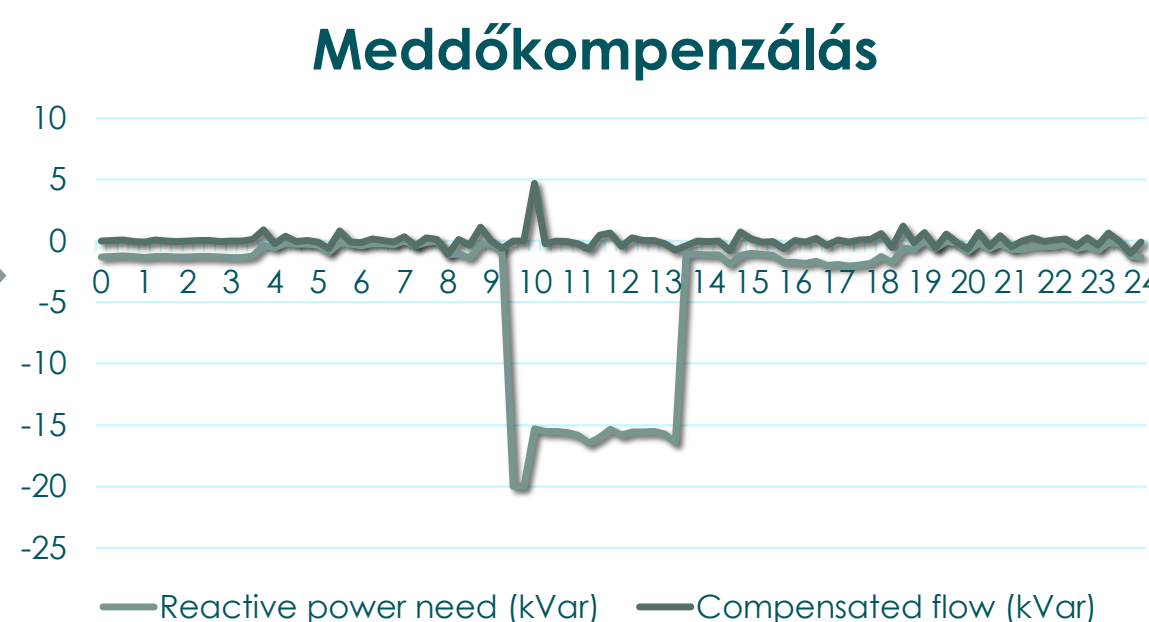


Source: ELMU (Hungarian DSO)

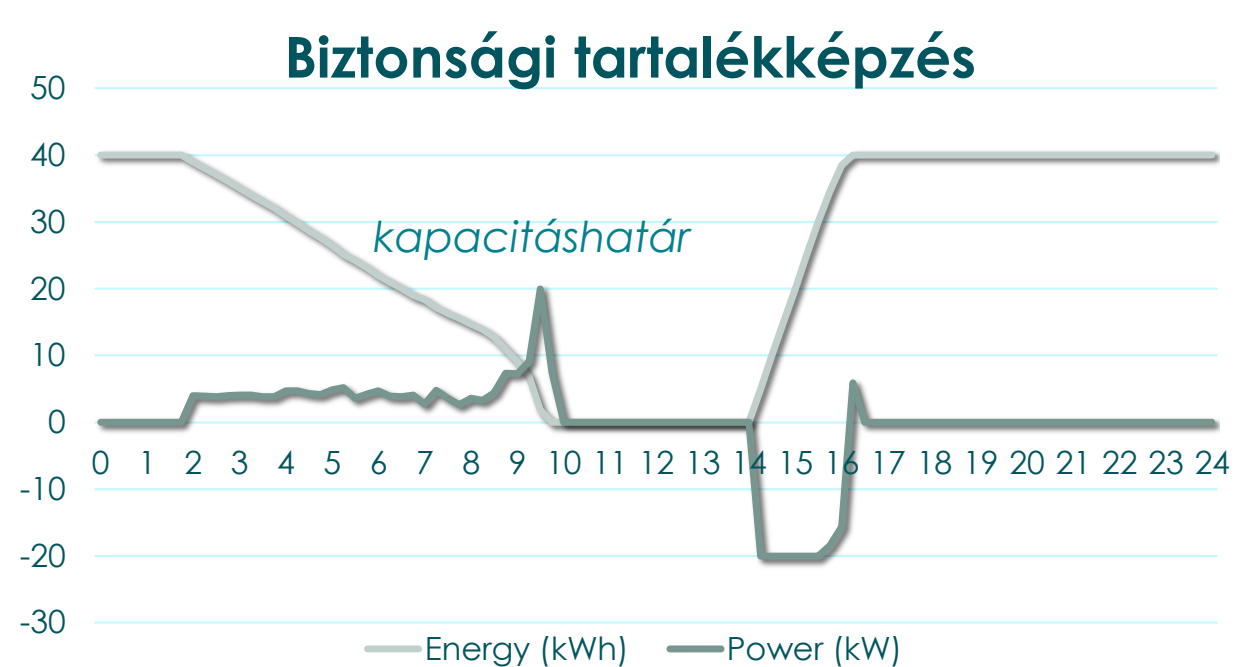
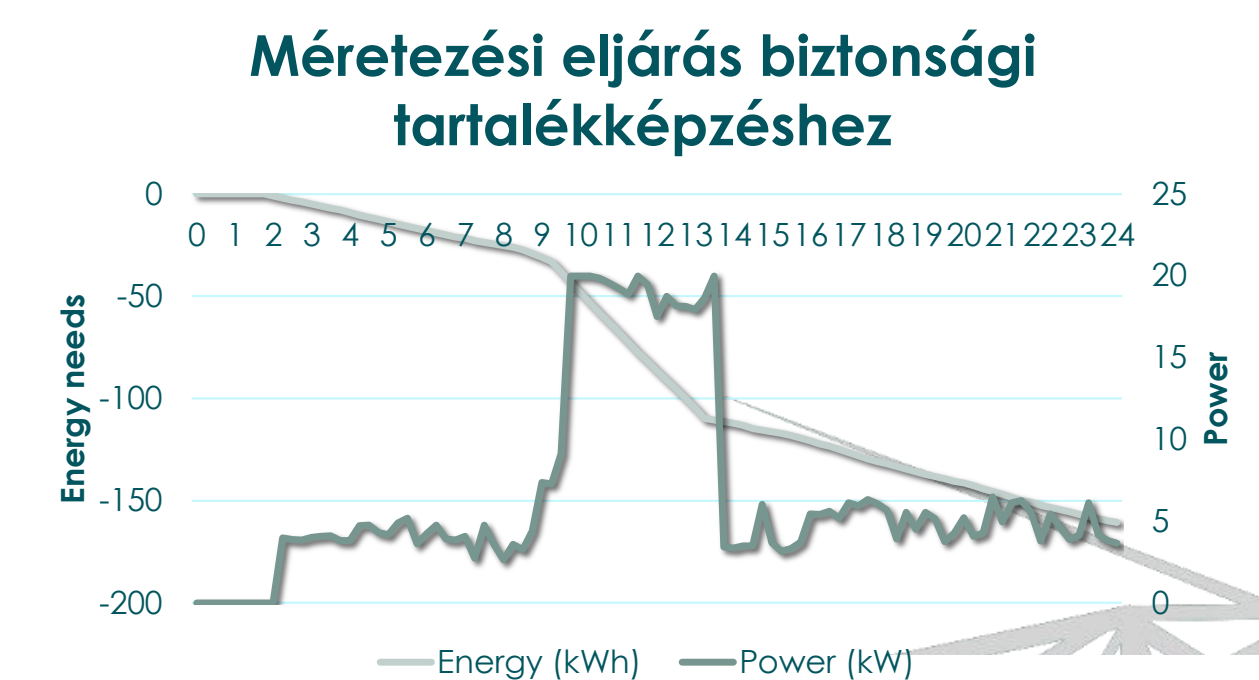
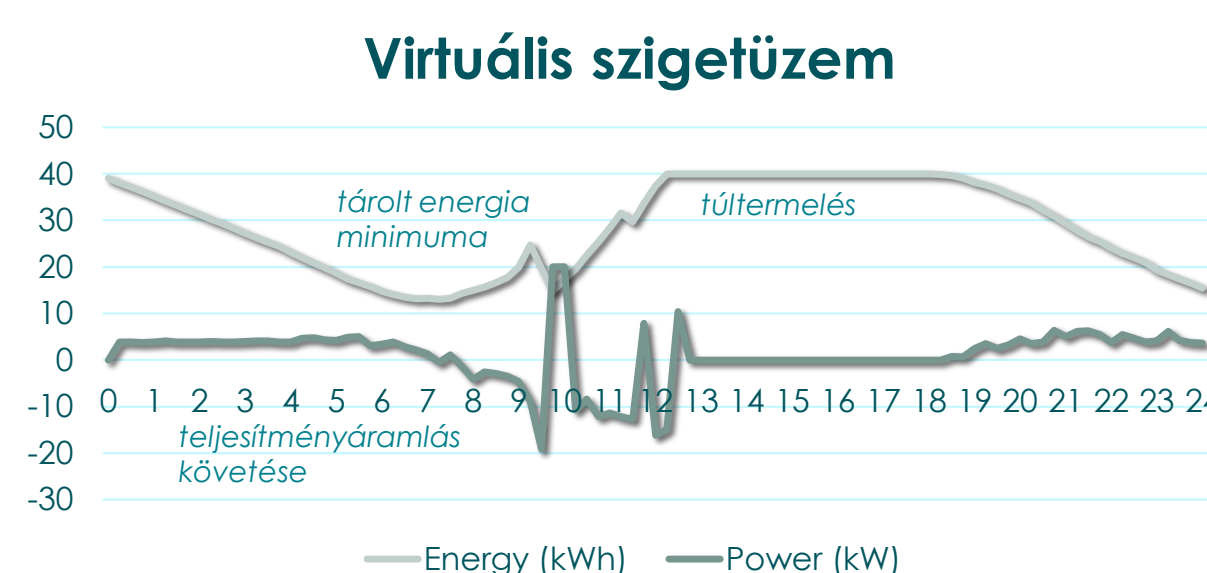
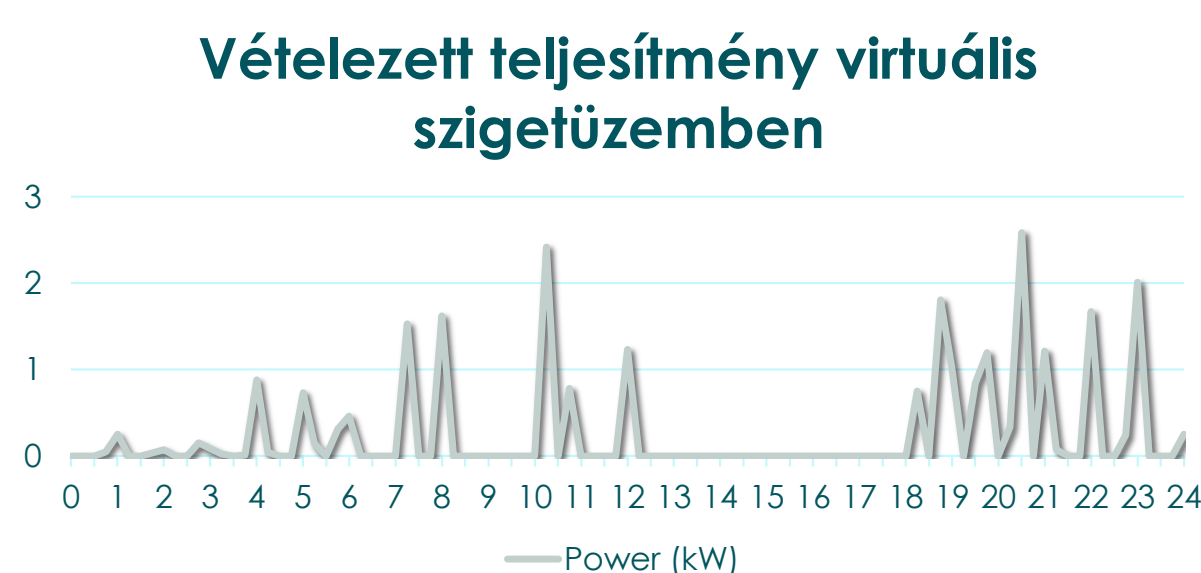
Mérési eredmények, műszaki adatok a modellezéshez



Információ, problémák, sikeresség vizsgálata



Szimulációs eredmények különböző célfüggvények esetén



Kiértékelés és konklúziók

Ez a tanulmány az energiatárolás egy lehetséges modellezési eljárását mutatja be, külön fókuszot helyezve a terjedést gátló tényezők pontos leírására.

Az energiatárolás képes versenypiaci körülmények között is megállni a helyét megfelelő tervezés esetén. A proaktív megközelítés elengedhetetlen.

A különböző stratégiák ötvözésével, valamint adaptív és prediktív megközelítésével az energiatárolás lehet az „energetika Szent Grálja” a közeljövőben.

Bemenő adat és paraméterek

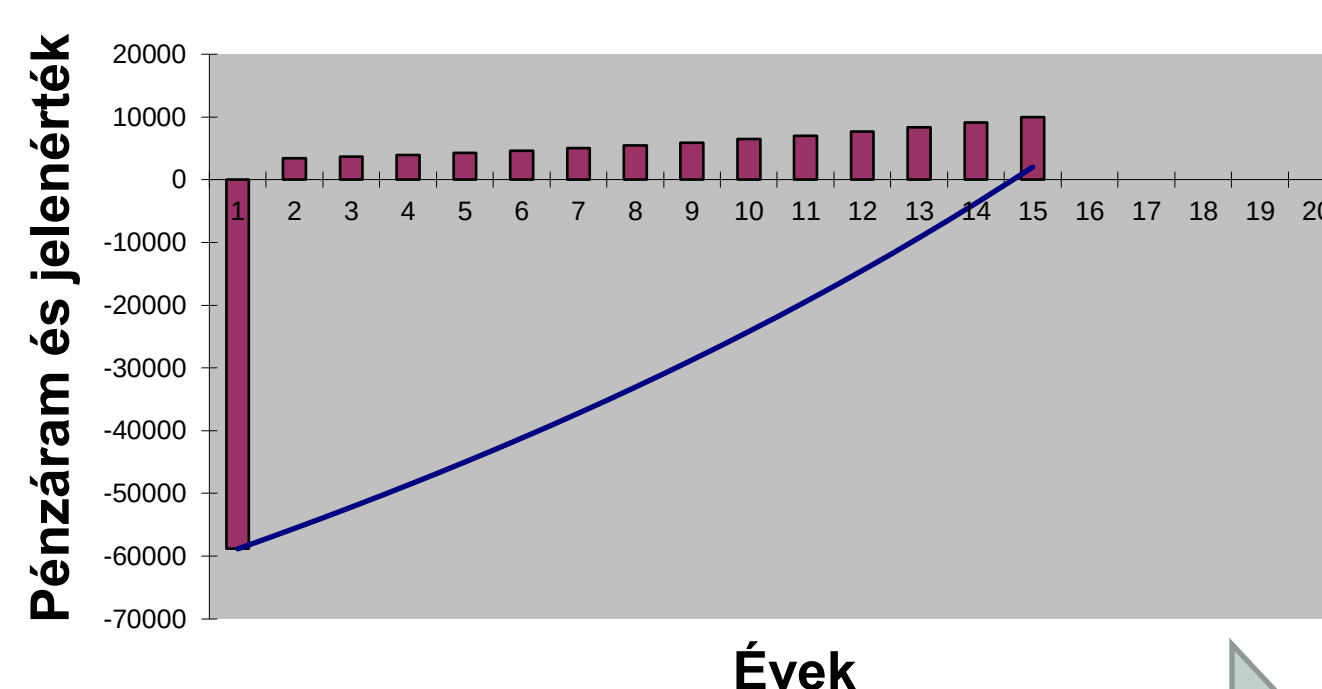
Név	Dimenzió	Funkció
Start	hour	Szimuláció kezdeti ideje
Step	hour	Időlépés
Stop	hour	Szimuláció végeideje
StorageStrategy	integer	Vezérlési stratégia választás
Efficiency	%	Tárolás hatásfoka
Energy	MWh	Kiinduló töltöttségi szint
Response	hour	Válaszidő
Sizing	I/H	Méretezési eljárás futtatás
MidPrice	\$/MWh	Árközéptérték
UpLimit	\$/MWh	Eladási küszöbár
LowLimit	\$/MWh	Vételi küszöbár
MaxCycle	integer	Ciklusszám
Power	MW	Névleges teljesítmény
Capacity	MWh	Kapacitás
SwitchOff	Hour	Kiesés időpontja
SwitchBack	Hour	Visszakapcsolás időpontja



Technológiai adatok és vezérlési stratégiák

Valid adat gazdasági számításokhoz

Megtérülés számítása



Eredmény: döntéstámogató rendszer

- Realizált előnyök:
- Megbízhatóság
 - Szigetüzem
 - Meddőkompenzáció
 - Optimalizált energiakereskedelem
 - Feszültségtámogatás

Expenses
Risk
Reward
Calculate ROI = \$\$\$

A SZINTETIKUS INERCIA ÉRTELMEZÉSE

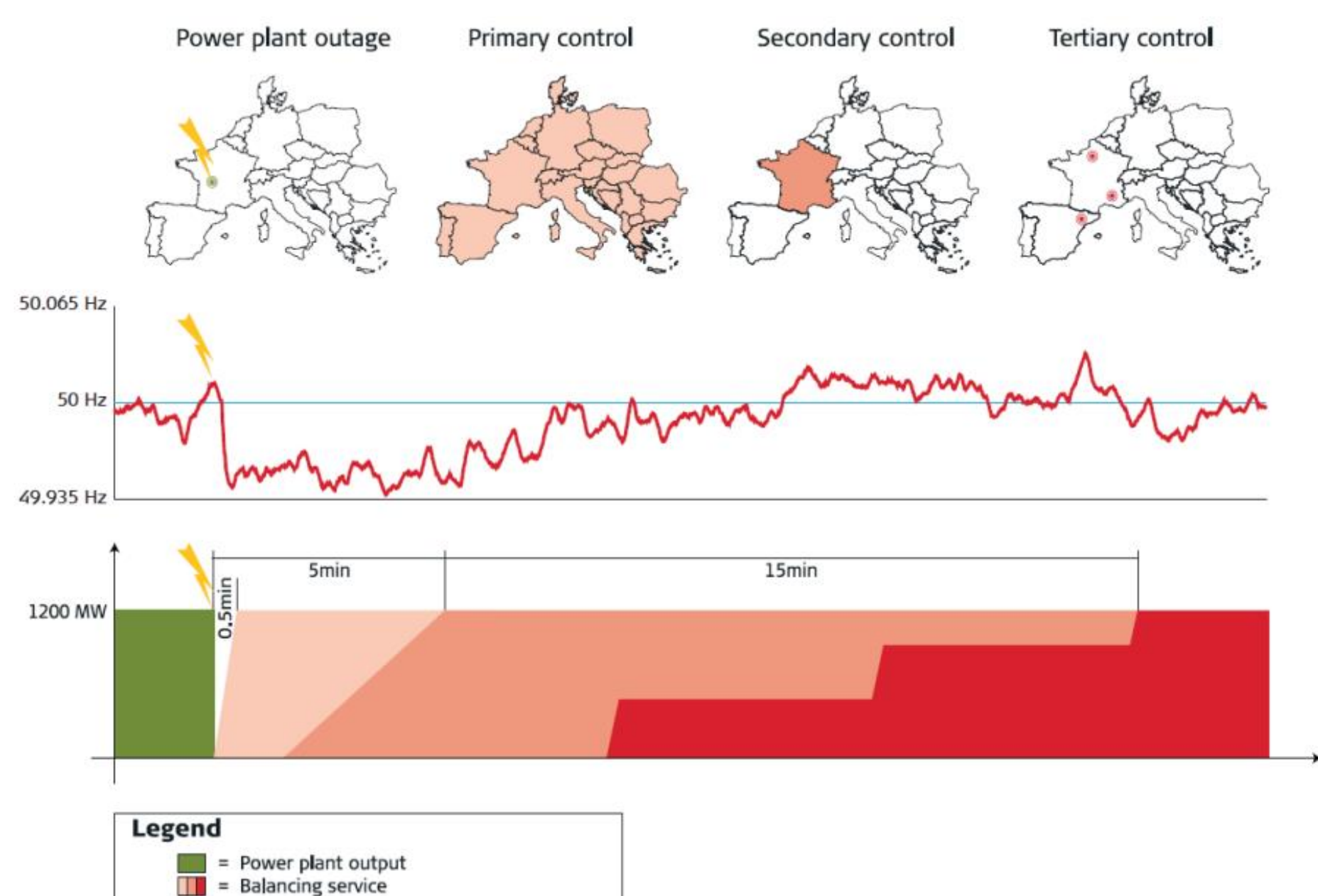
TÁCZI ISTVÁN

taczi.istvan@eszk.org

TÉMAVEZETŐ: DR. VOKONY ISTVÁN

A VER stabilitása

A villamosenergia-rendszer folyamatos és zavarmentes üzeme kulcsfontosságú kérdés. A korábbi precedensek – üzemzavarok, részleges vagy teljes rendszer-összeomlások – is bizonyítják, hogy a rendszer stabilitása egy aktuális probléma, megoldást kell találni a hibás üzemállapotok elkerülésére vagy megszüntetésére.



Az üzemeltetés során a rendszerirányító célja, hogy a feszültség és frekvencia nagyságát a névleges értéken tartsa.

Az inercia fogalma

Az inercia mértéke alapvetően befolyásolja azt, hogy a frekvencia milyen mértékben változhat, azaz az ellenállóságot fejezi ki. Ez a képesség a hálózatra csatlakozó szinkron forgógépekben tárolódó kinetikus energiából származik: minél nagyobb a mögöttes forgógépek tömege, annál kevésbé engedik a rendszert eltávolodni a névleges frekvenciaértéktől, ezáltal dinamikus stabilitást szolgáltatva annak.

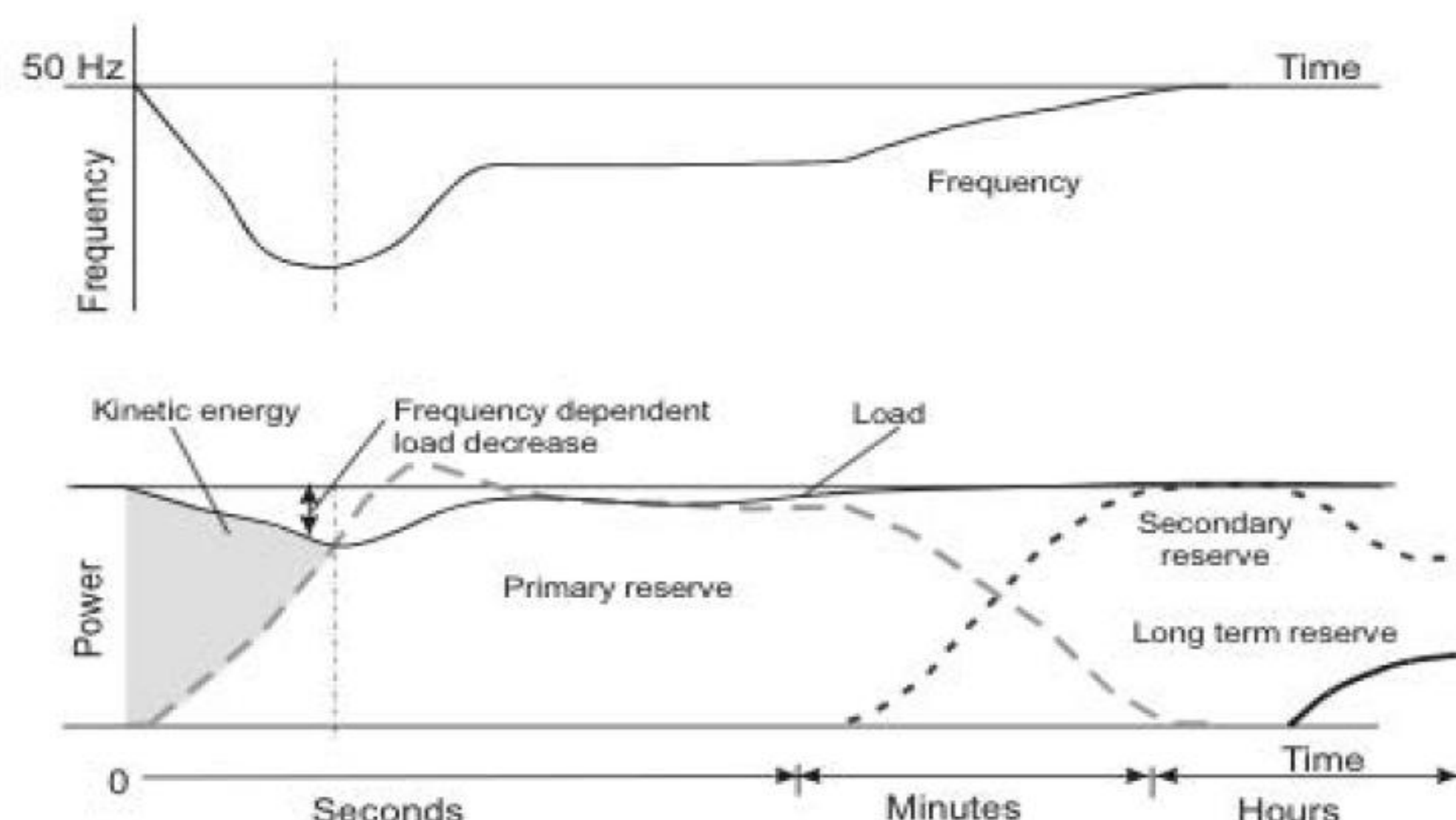
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P_{gen} - P_{load}}{J \cdot \omega} = \frac{\Delta P}{J \cdot \omega}$$

$$H = \frac{E_k}{P_r} = \frac{1}{2} J \omega_0^2 \frac{1}{P_r}$$

$$E_k = \frac{1}{2} J \omega^2$$

$$J = \frac{2H \cdot P_r}{\omega_0^2}$$

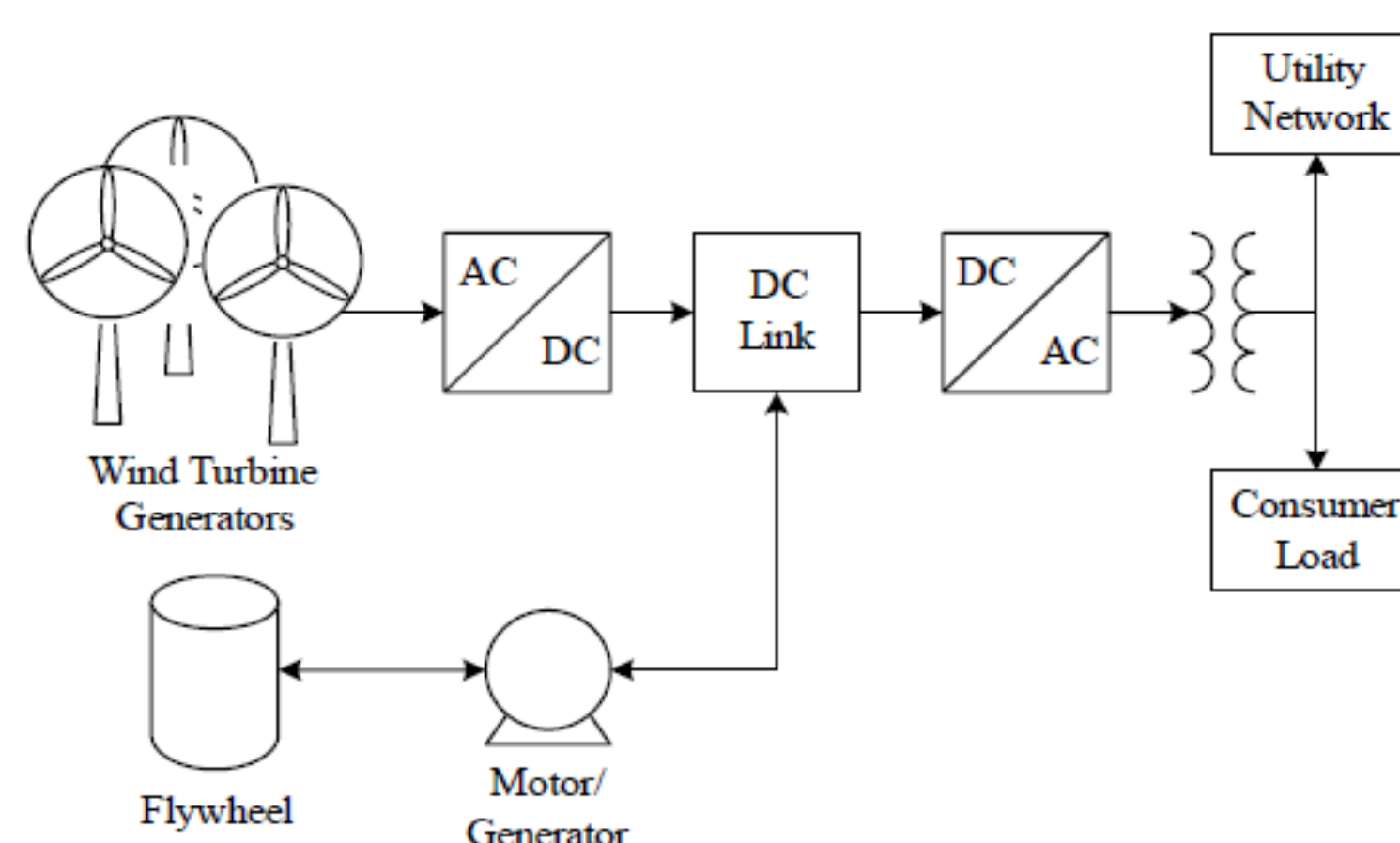
$$\Delta E_k = E_{k1} - E_{k2} = \frac{1}{2} J \omega_i^2 - \frac{1}{2} J \omega_f^2 = \frac{1}{2} J (\omega_i^2 - \omega_f^2)$$



Szintetikus inercia

A megújuló energiaforrások térnyerésével a rendszer inerciája is megváltozik. A napelemekben nincs mozgó alkatrész, így nem képesek inerciát szolgáltatni önmaguktól, sőt: szűk határon túl változó frekvencia esetén le is válnak a hálózatról. A szélturbinák azonban rendelkeznek mozgó alkatrészekkel, ezáltal van kinetikus energia tárolási képességük. A változó sebességű (VSWT+DFIG) szélturbinák teljesítményelektronika vezérlések segítségével képesek modulálni a kimeneti teljesítményét, ezzel inercia jellegű választ szolgáltatva. A rendszer dinamikus paramétereit tovább javíthatóak energiatároló berendezések alkalmazásával. A vezérlések lényege pedig, hogy az eddig fizikai alapon automatikusan lezajló szabályozásokat implementálja a rendszerbe, megőrizve az ellátásbiztonságot.

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} J \omega_{nom}^2 \left(1 - \frac{\omega_f^2}{\omega_{nom}^2}\right) \quad \Delta E_{kpu} = H \left(1 - \frac{\omega_{fpu}^2}{\omega_{nom}^2}\right) \quad \Delta E_{kpu} = H \left(\frac{\omega_{ipu}^2 - \omega_{fpu}^2}{\omega_{nom}^2}\right)$$



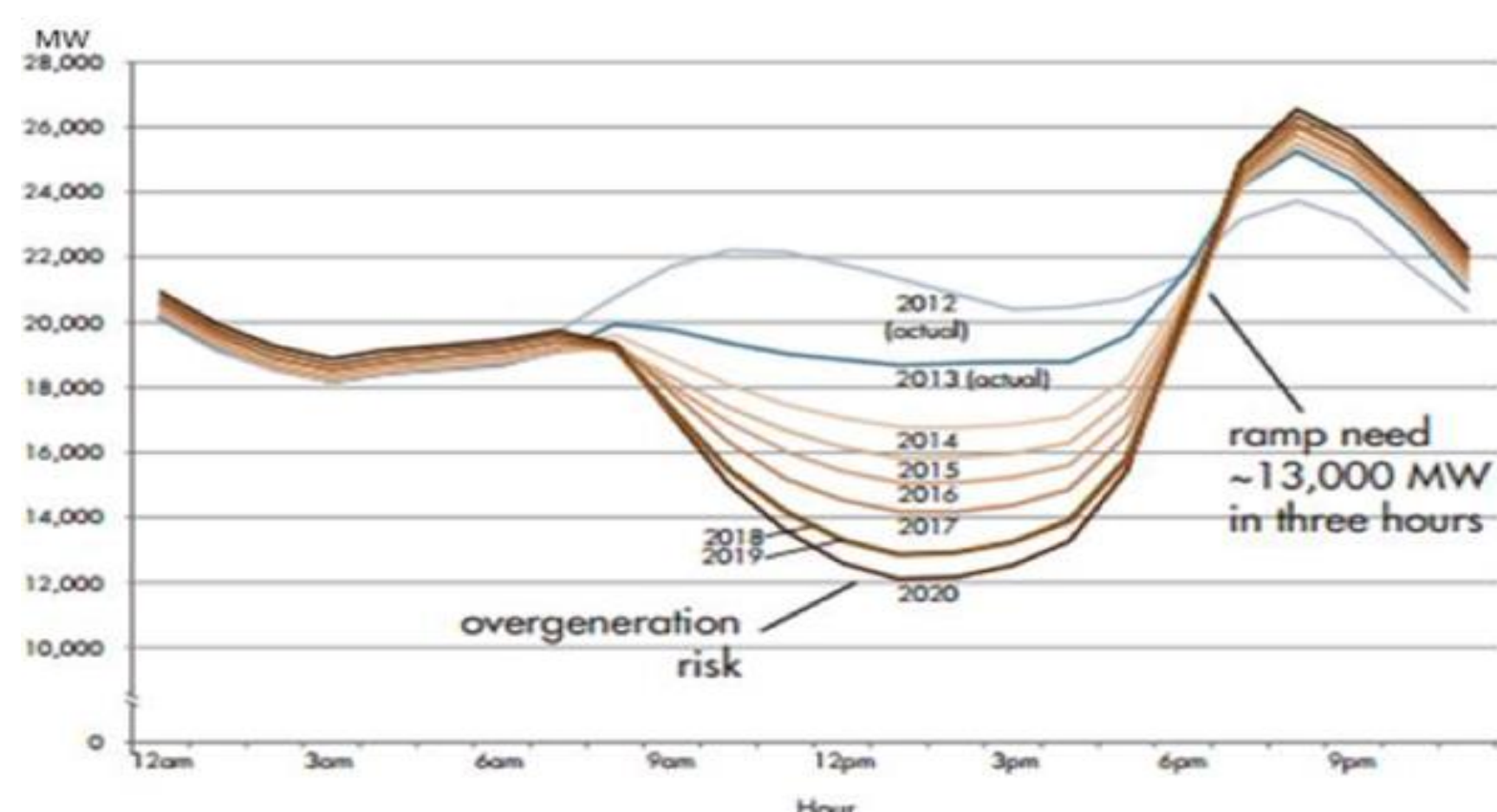
Források:
 [1] Gauthier Delle, Bruno Francois, Giles Malarange: Dynamic Frequency Control Support by Energy Storage to Reduce the Impact of Wind and Solar Generation on
 [2] László V. L. Abreu, Mohammad Shahidehpour: Wind Energy and Power System Inertia
 [3] Mania Pavella, Damien Ernst, Daniel Ruiz-Vega: Transient Stability of Power Systems: A Unified Approach to Assessment and Control
 [4] Szabó László, Faludi Andor: A villamosenergia-rendszer üzeme és irányítása
 [5] Dr. Vokony István: Villamosenergia-rendszer stabilitásvizsgálata közvetlen módszerrel

Hálózati energiatárolási lehetőségek a növekvő megújuló penetráció fényében

Táczi István

A probléma aktualitása

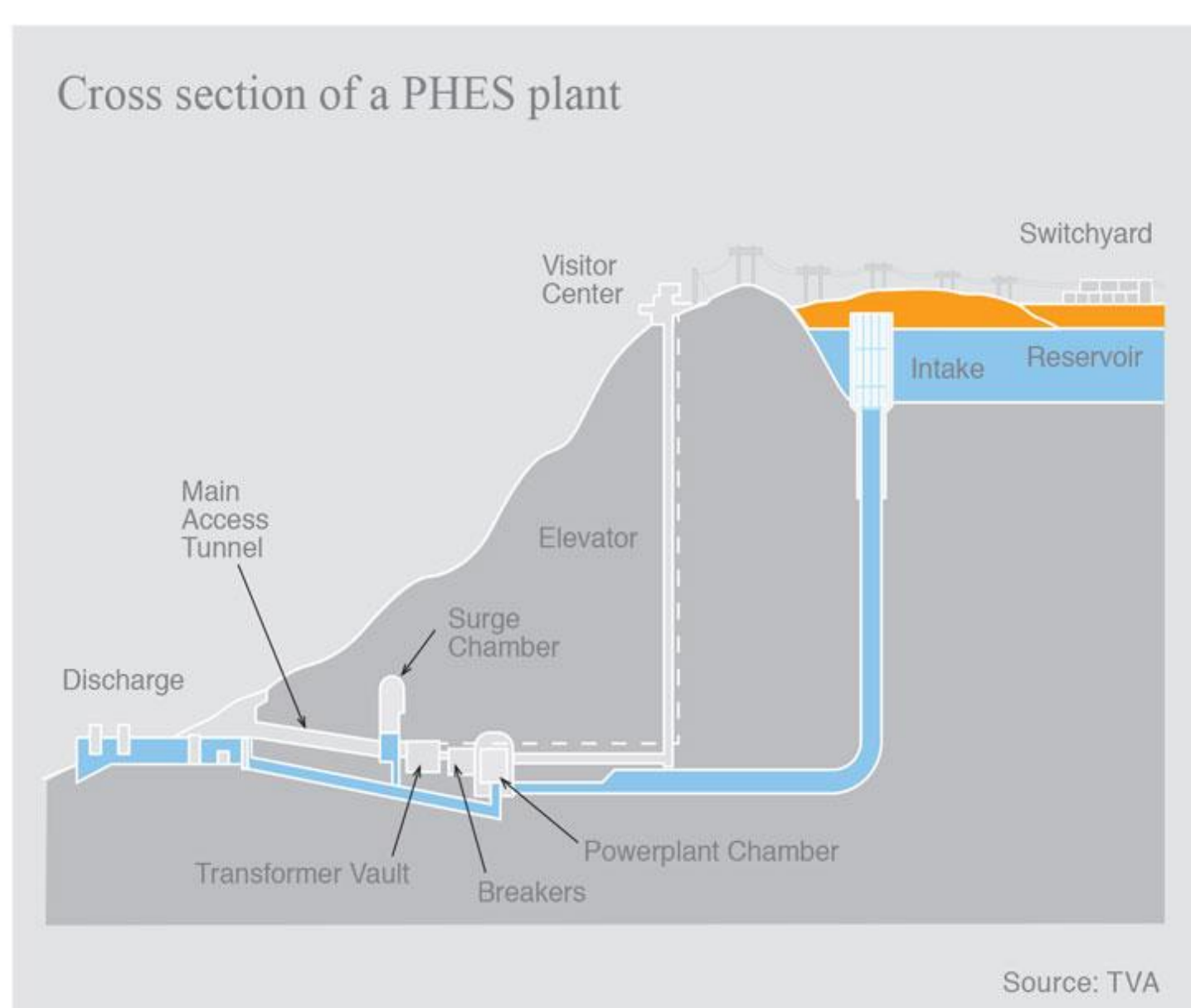
A növekvő megújuló penetráció (különös tekintettel a napelemes termelőkre) komoly kihívások elé állítja a közép- és kisfeszültségű hálózat üzemeltetőket. Bizonyos helyzetekben előállhat, hogy egy alacsony rendszerterhelés (a fogyasztói profilok alapján) és egy jelentős betáplálási viselkedés időben egybeesik. (Erre jó példa: a napelemek optimális maximuma 12 és 14 óra közé tehető, míg a lakossági profil ebben az időszámban alacsony igényt mutat.) A problémát fokozza, ha olyan típusú napelemek terjednek el, amelyeknek elegendő az egy fázisú betáplálás. Így a nem kellően gondos kivitelezés eredményeképpen nemcsak túlterhelésre lehet számítani, hanem jelentős aszimmetriára, valamint az egyéb feszültség minőségi mutatók (MSZ EN 50160) esetében is romlás várható. Javasolt a proaktív tervezés, viselkedés: a későbbi jelentős hálózatfejlesztési beruházásokat elkerülendő megoldás lehet energiatárolók üzembe helyezése, vagy a telepítés elemzése, vizsgálata tűnik megalapozott beavatkozásnak. Azokban az időszakokban, amikor a megújuló források többletet termelnek a hálózatra, és az energiaáramlás hagyományos iránya megváltozik, egy megfelelően választott kisfeszültségű hálózati ponton telepített energiatároló ezt az energiát betárolja. Majd, amikor megnőnek az energiaigények, ennek leadásával javítja a terhelési görbét.



Energiatároló berendezések

Energiatároló eszközöknek nevezzük az olyan berendezéseket, amelyek képesek az energia generálás utáni abszorbeálására, majd leadására, illetve további felvételre az igények függvényében. A tárolás fizikai közege alapján tipizálhatjuk a különböző technológiákat. Az adott eszköz jellemzésére fő paramétereinek ismeretében alkothatunk egy speciális karakterisztikát, mely segítségével összehasonlíthatjuk más típusokkal, vizsgálhatjuk a rendszerbe illeszthetőségét, meghatározhatjuk potenciális lehetőségeit. Ezen karakterisztika elemei a következők:

- **Teljesítmény** (power): $[P]=W$
- **Kapacitás** (energy/capacity): $[E]=Wh (J)$
- **Élettartam** (lifetime): $[T]=\text{év} (s)$
- **Hatásfok** (efficiency): $[\eta]=\%$
- **Kibocsátási idő** (discharge time): $[t_d]=\text{óra} (s)$
- **Válaszidő** (response time): $[t_r]=\text{perc} (s)$
- **Ciklusszám** (typical cycle lifetime): $[c]=db$
- **Méret** (size): $[\rho]=Wh/kg$ vagy Wh/m^3



Alkalmazások

Az energiatárolók alkalmazásait hálózati szerepük alapján csoportosíthatjuk, mely kategorizáció igen sokrétű. Többek között lehetséges az aggregát működés kialakítása, illetve a párhuzamosítás. A párhuzamosítás esetén különösen fontos, hogy a hasznosság számításakor helyes módszertant alkalmazzunk, mert a gazdasági előnyök nem feltétlenül egyszerűen additív formában jelennek meg. Igazán hasznos felhasználásnak azt tekinthetjük, amikor a hálózat műszaki paramétereinek javítása mellett gazdasági szempontból is képesek vagyunk profitot termelni.

Energia-termelés, rendszerszint:

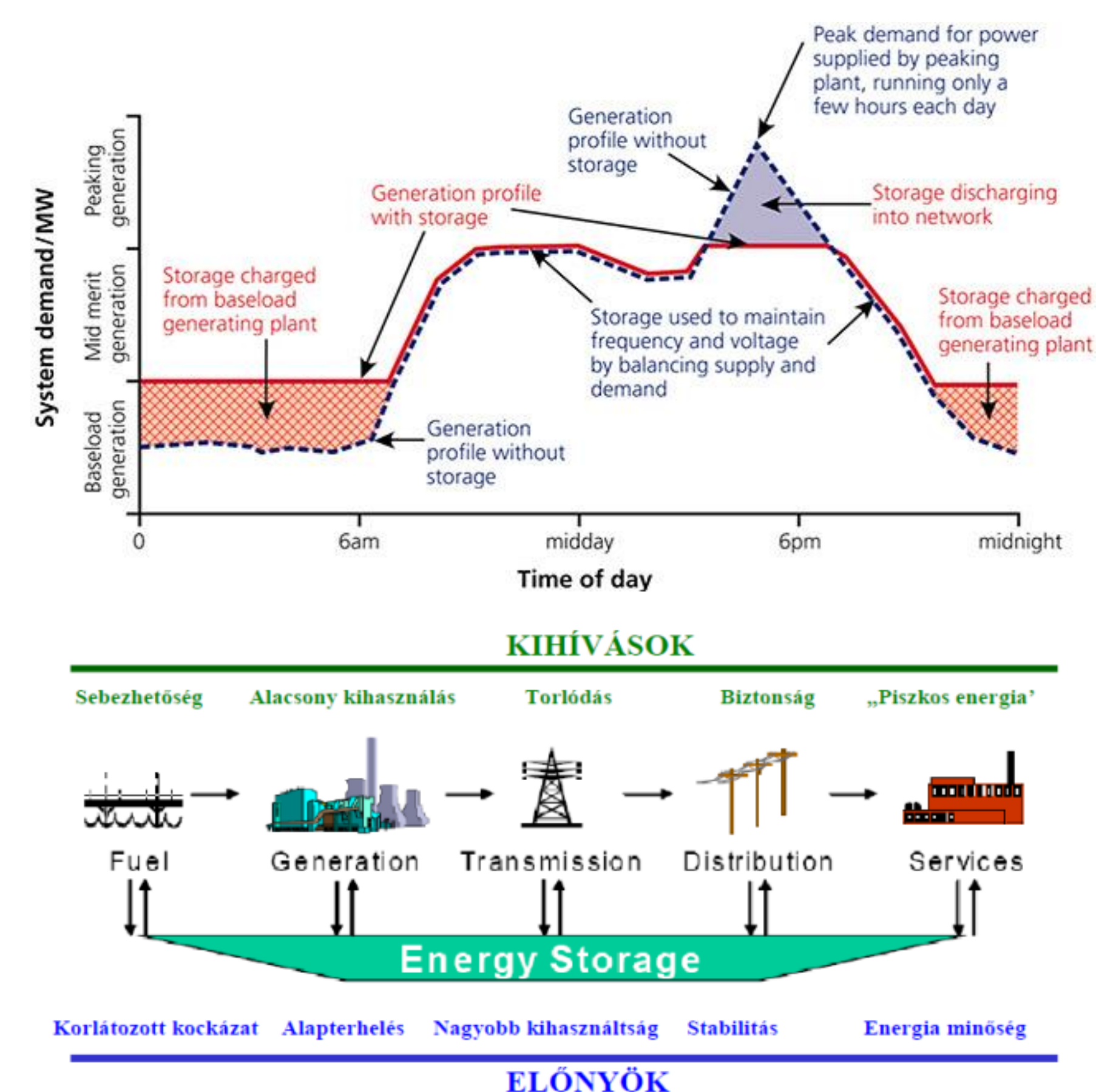
- Szabályozás
- Csúcslevágás
- Tartalékok
- Black start

Átviteli és elosztó hálózat:

- Feszültségtámogatás
- Torlódások elkerülése
- Befektetések késleltetése
- Lokális kapacitás
- Megújuló integráció

Felhasználói:

- Minőségjavítás
- Megbízhatóság
- Kedvezőbb díjszabás kialakítása

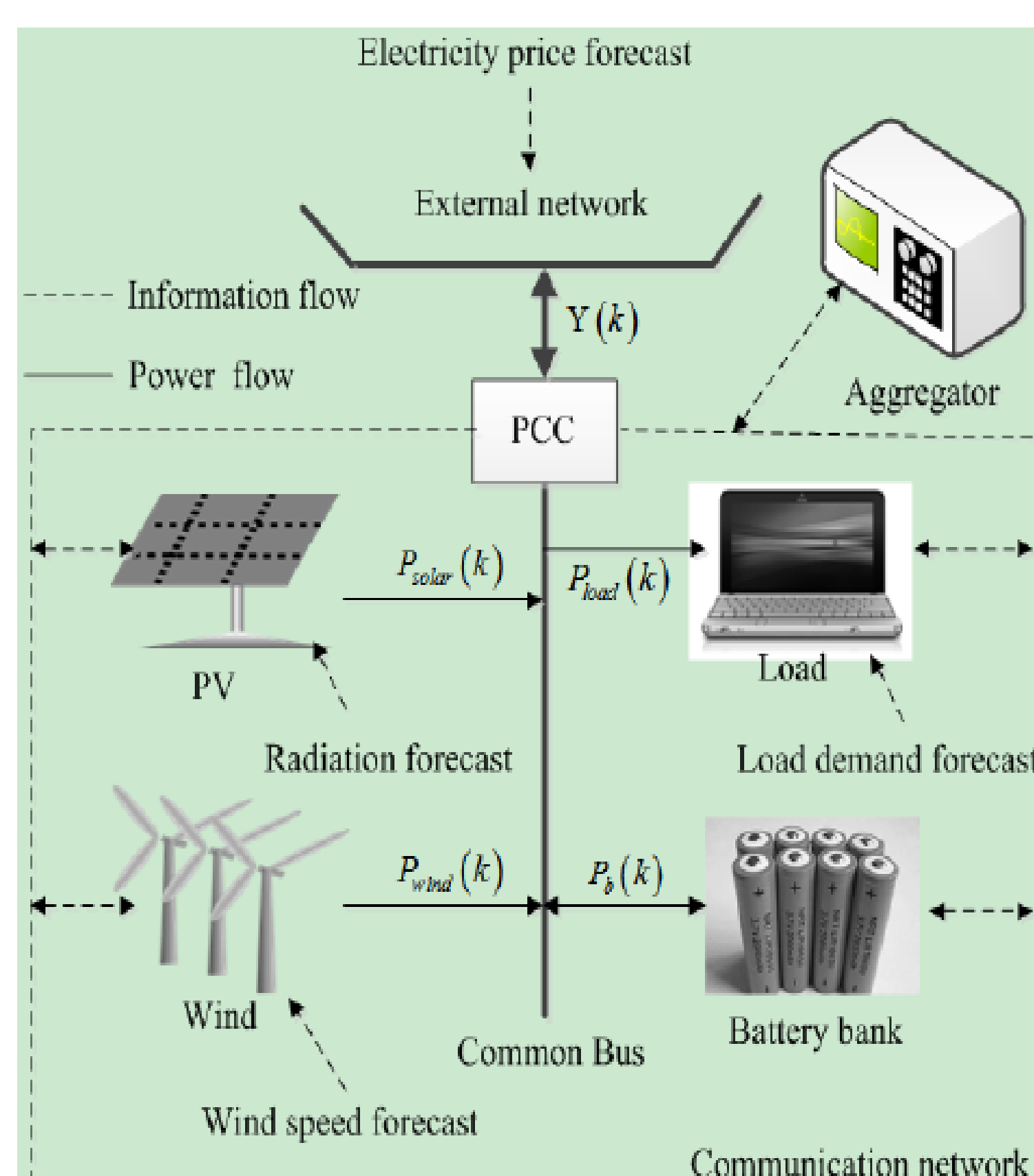


Vezérlési elvek

Az energiatároló berendezéseket különböző elvek szerint szabályozhatjuk. Minimalizálhatjuk például egy adott hálózatrész veszteségeit. A villamosenergia-piacon kereskedést folytathatunk, mellyel profitot termelhetünk. Növelhetjük a hálózatunk ellátásbiztonságát, vagy akár speciális minőségi követelményeknek is megfeleltethetjük egy helyes algoritmus alkalmazásával.

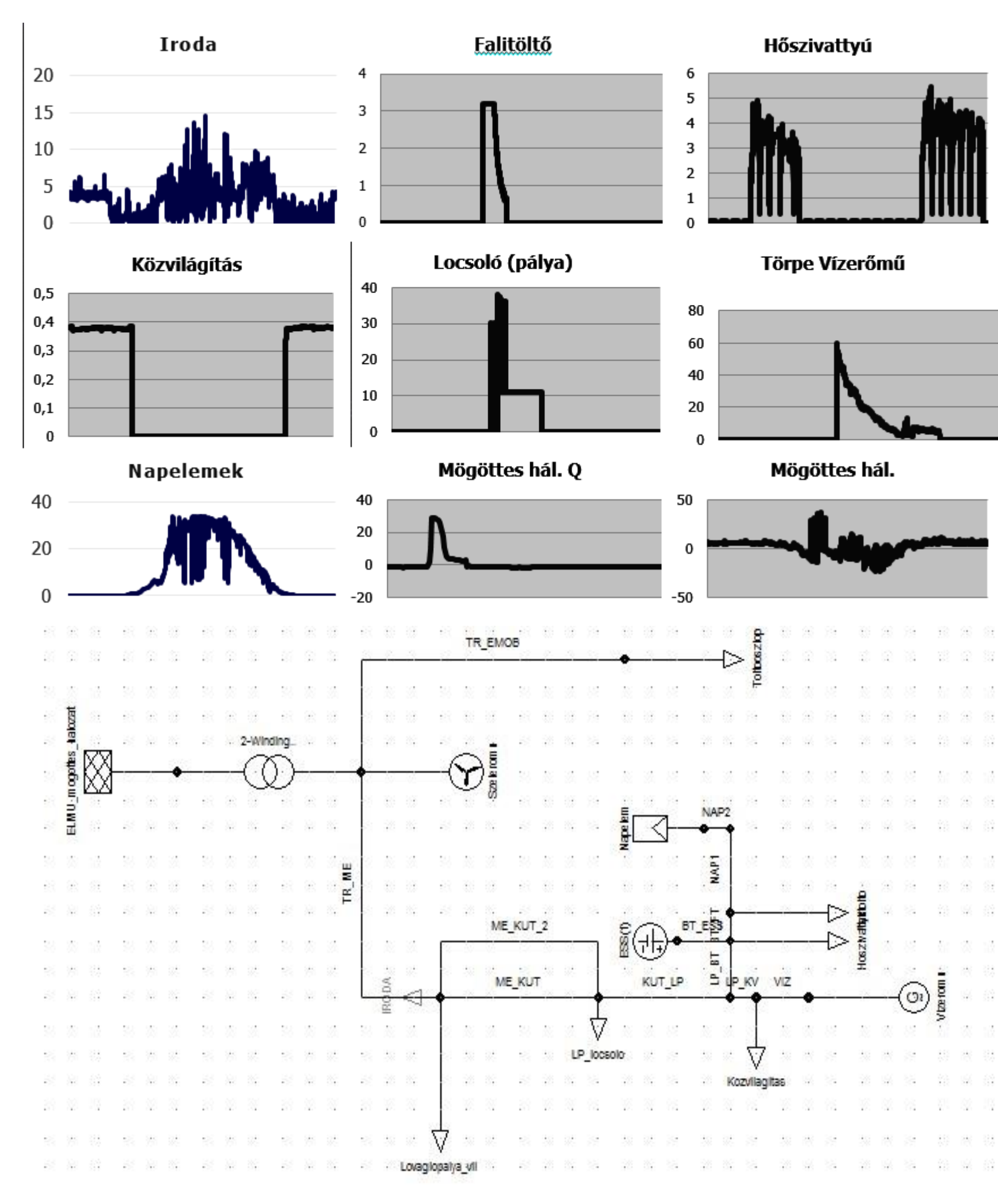
A különböző célok eléréséhez stratégiákra van szükségünk. A változók identifikálása után határfeltételeket kell megadnunk, melyek kielégítésére kialakul egy numerikus algoritmus. A teljes hálózatot pedig decentralizált struktúrában elképzelve microgridek összességeként modellezhetjük. A vezérlés alapelvei lehetnek például:

- Teljesítmény-áramlás követés
- Prediktív algoritmusok
- Tanuló algoritmusok
- Modell prediktív eljárások (MPC)



$$P_{netload}(k) = P_{load}(k) - P_{solar}(k) - P_{wind}(k) + P_b(k)$$

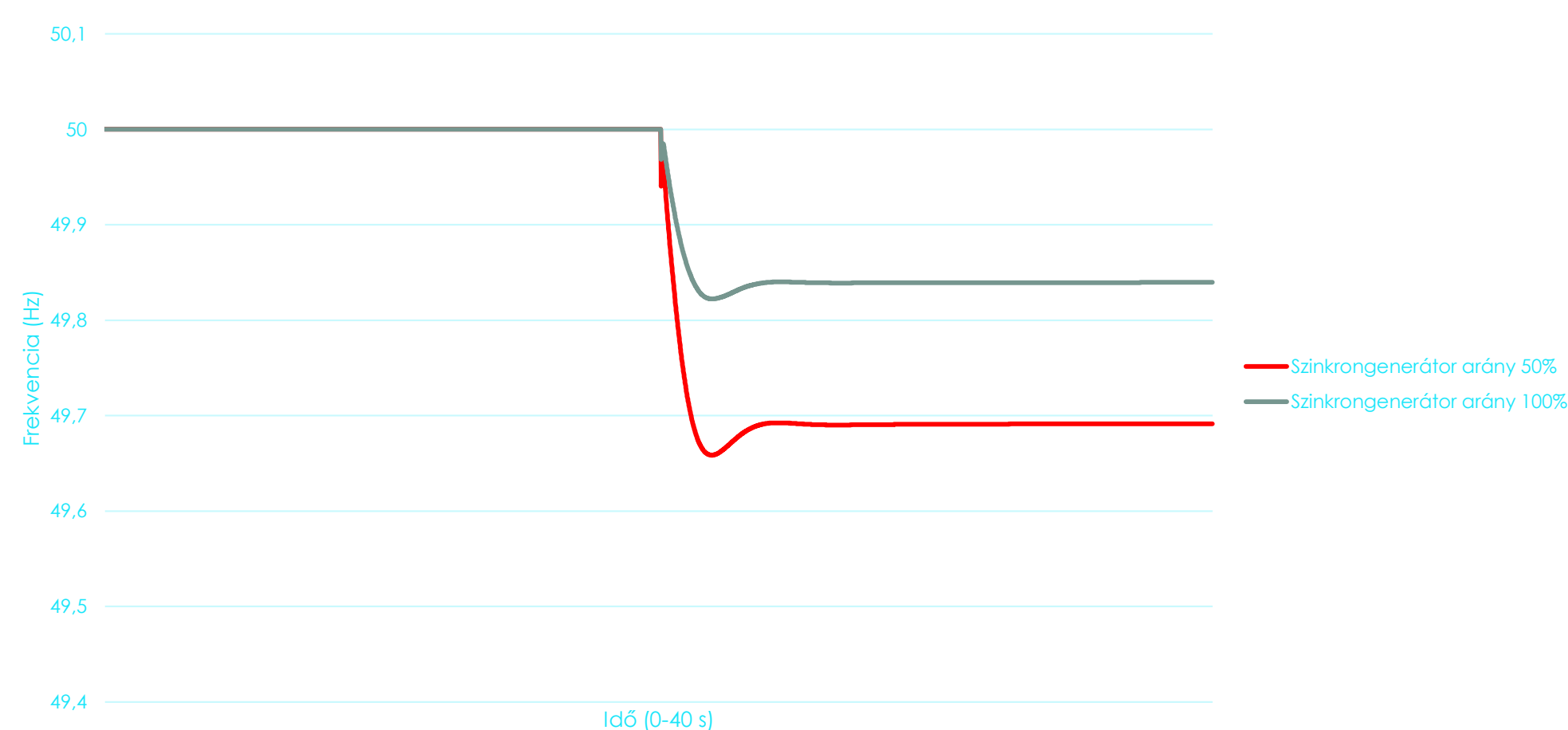
$$\min F(x) = \sum_{k=1}^T Cost(P_{netload}(k))$$



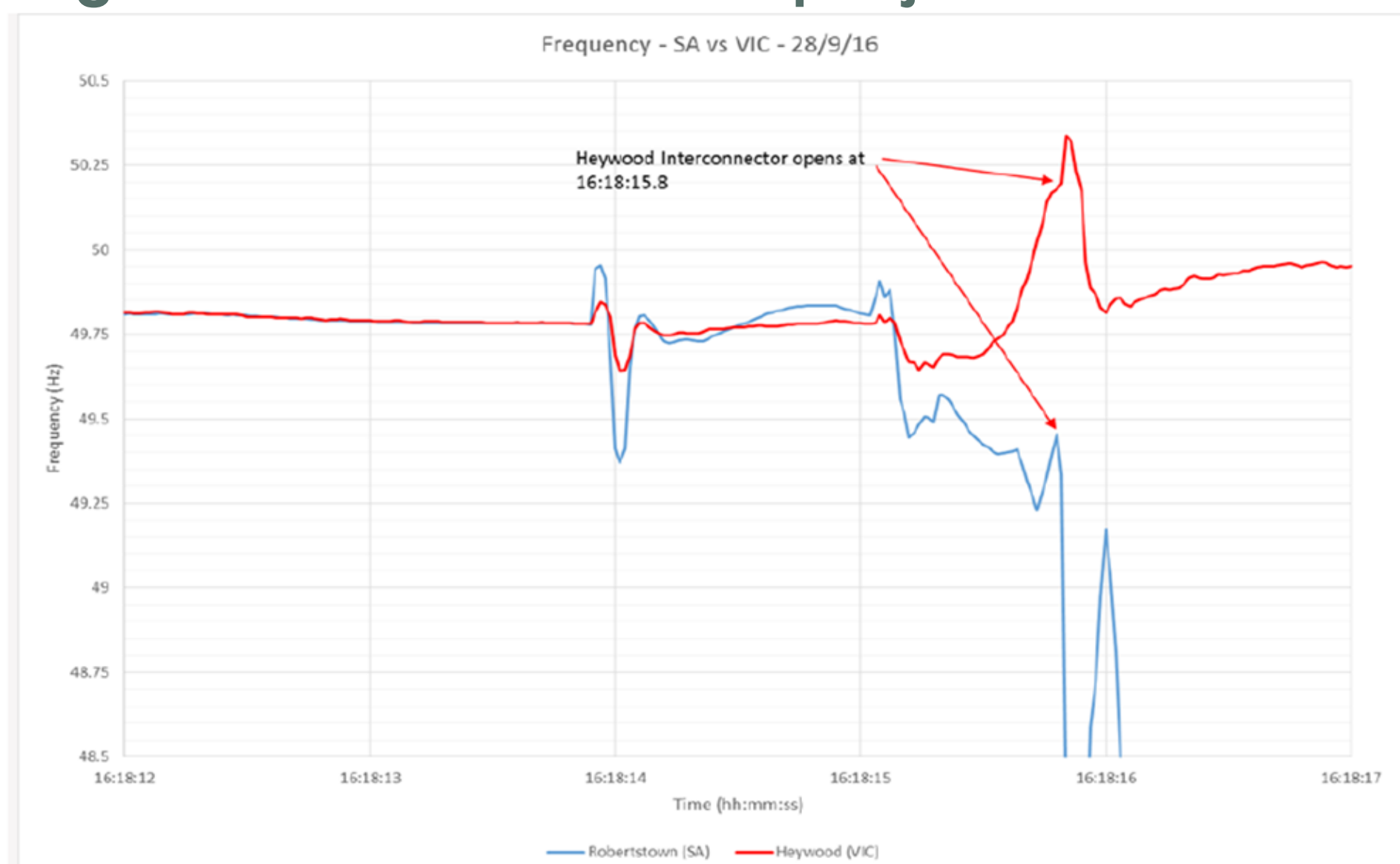
A TELJESÍTMÉNYELEKTRONIKAI ÁTALAKÍTÓKON KERESZTÜL A HÁLÓZATRA CSATLAKOZÓ TERMELŐEGYSÉGEK RENDSZERSTABILITÁSRA GYAKOROLT HATÁSA

TÁCZI ISTVÁN

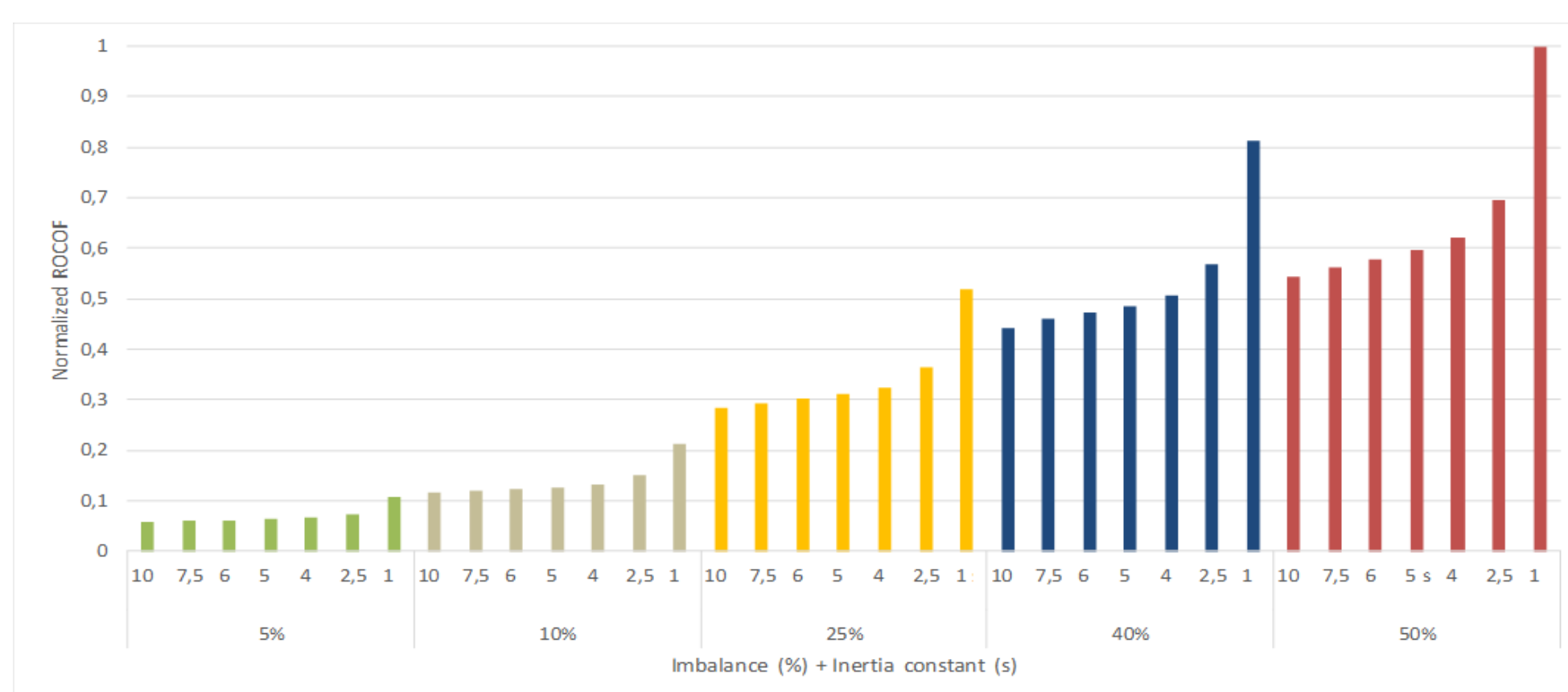
A villamosenergia-rendszer stabilitása alatt azt a képességet értjük, hogy a rendszer egy – állandósultnak tekinthető – kiinduló üzemállapotából képes visszatérni egyensúlyi helyzetébe miután valamilyen változás (terhelésnövekedés vagy csökkenés, hálózati hiba stb.) befolyásolta a működését, továbbá ezen folyamat során a rendszer integritása nem sérül.



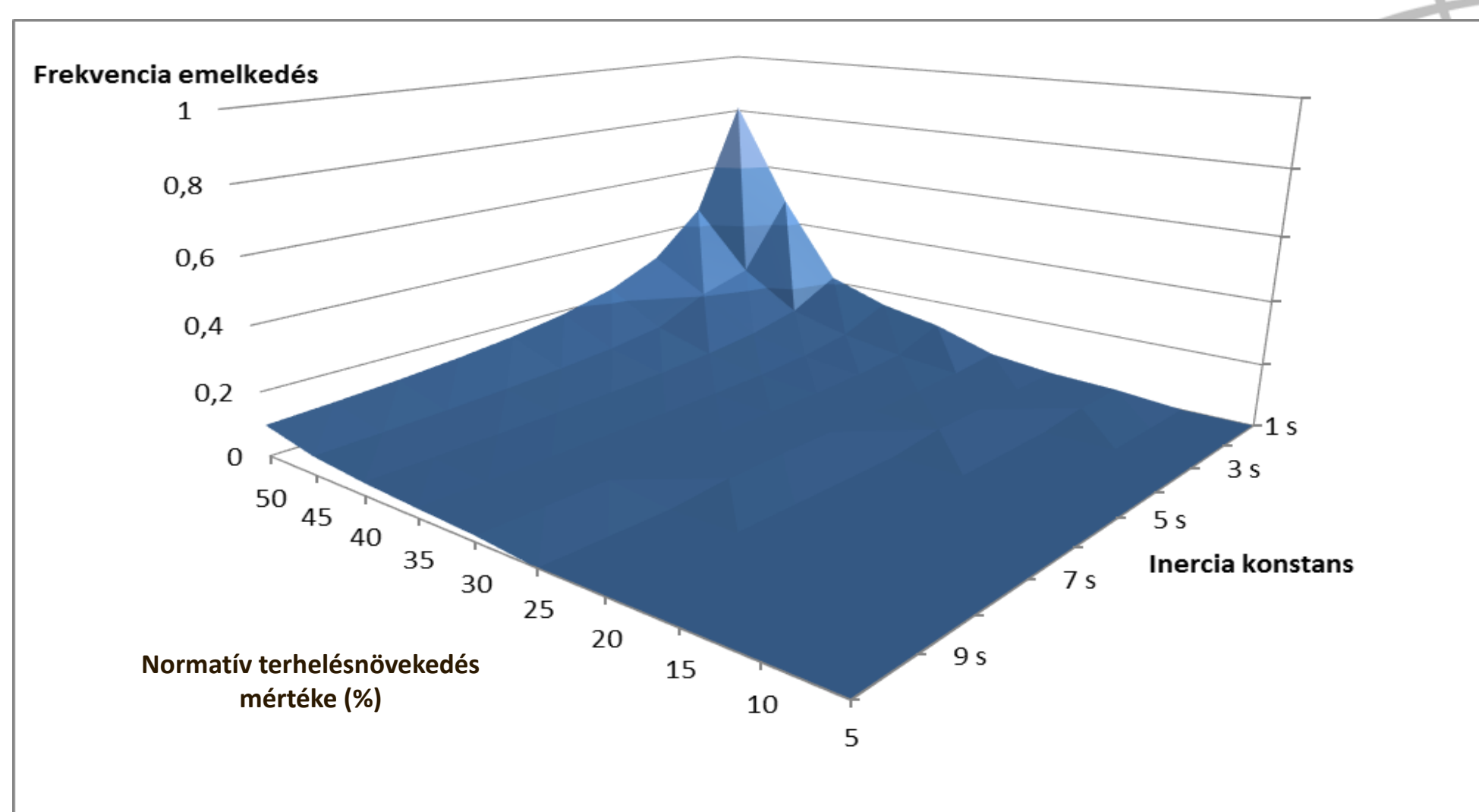
Az inercia mértéke alapvetően meghatározza azt, hogy a frekvencia milyen gyorsan változhat, azaz az ellenállóságot fejezi ki. Ez a közvetlen fizikai válasz a hálózatra közvetlenül csatlakozó szinkron forgógépekben tárolódó kinetikus energiából származik: minél nagyobb a forgógépek tömege, annál kevésbé engedik a rendszert eltávolodni a névleges frekvenciaértéktől, ezáltal biztosítva a stabilitást tranziens folyamatok során. A megújuló energiaforrások térnyerésében a nap- és szélenergia a domináns. Ezek a termelőegységek pedig teljesítményelektronikai átalakítók keresztül csatlakoznak a hálózatra, azaz nem rendelkeznek a szinkrongépekhez hasonló közvetlen fizikai válasszal, amely a stabilitás megőrzésében kritikus szerepet játszik.



A szintetikus inercia fogalma lényegében azt takarja, hogy a teljesítményelektronikai berendezéseken keresztül a hálózatra csatlakozó termelők kimeneti teljesítményét úgy szabályozzuk, mintha azok is rendelkeznének forgó tömeggel. Ez gyakorlatilag emulálja a szinkrongenerátorok közvetlen fizikai hatását.



A rendszer frekvenciastabilitás szempontjából jellemezhető egy háromdimenziós ábrán. A különböző mértékű inerciával nem rendelkező termelőegység penetráció és a stabilitást veszélyeztető kiváltó ok mértéke (ugrásszerű teljesítményváltozás) függvényében a folyamat során kialakuló minimális frekvencia jól jellemzi a rendszerállapot veszélyességét.



A mosonmagyaróvári körzeten végzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy szintetikus inercia képzés nélküli esetben 60%-os teljesítményelektronikai termelő penetráció mellett is előfordul terheléskorlátozás aktiváció. A modellezett 200 rendszerállapotból 6 esetben volt szükség központi energiatároló alkalmazására, minden más esetben elégséges volt a szélerőművek szintetikus inercia képzése.