

Veszélyek a villamosenergia -rendszerben



Energetikai
Szakkollégium
2014. október 2.

Kapás Mihály
ODSZ osztályvezető

MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli
Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság

*MAVIR Hungarian Independent
Transmission Operator Company Ltd.*

MBI MAGYAR
BRANDS
2012





Az előadás célja:

Szakmai tájékoztatás, ismeret bővítés

- 1.) A villamosenergia-rendszer biztonsága**
- 2.) A rendszer üzemét veszélyeztető tényezők**
- 3.) A rendszer részleges, vagy teljes összeomlásához vezető események,**
- 4.) A rendszer üzemének felügyelete a gyakorlatban.**

Legyen elegendő villamos energia

Gond: nem tárolható, pillanatnyi egyensúlyt kell biztosítani

Jusson el a fogyasztókhoz

Gond: nem arra megy, amerre szerződést kötnek, csak a fizika törvényeinek engedelmeskedik



A villamosenergia-rendszer biztonsága

- **energetikai berendezések**
- **üzemirányítási rendszer**
- **személyzet**
- **szabályozottság**
- **adatvédelem**
- **fizikai védelem**

egységes rendszere

Hosszú távú tervezés 10 év

Üzem-előkészítés:

éves, havi, heti, napi

hálózat
forrástervezés

Követelmény: $N - 1$

Bármely egyszeri esemény nem veszélyeztetheti a rendszer biztonságát, nem okozhat veszélyes

- frekvencia eltérést
- feszültség-csökkenést
- stabilitás veszteséget
- kaskád kiesést



- minden szereplő tevékenysége jól körülhatárolható, szabályozott, dokumentált
- a termelők, szállítók, szolgáltatók egységes rendszerben, azonos követelmények szerint működnek

*Üzemi Szabályzat,
Kereskedelmi Szabályzat
Belső utasítások*

1. Teljesítmény-frekvencia szabályozás
2. Menetrendkezelés és elszámolás
3. Üzembiztonság
4. Koordinált üzemvitel-tervezés
5. Vészhelyzeti intézkedések
6. Kommunikációs infrastruktúra
7. Adatcserék
8. Diszpécser tréning

Közeljövő: grid code-k

Az üzembiztonságot veszélyezteti

Üzemzavar

Természeti csapás

Informatikai meghibásodás

Szándékos károkozás

Nem üzemzavar célú (baleset, lopás)

Üzemzavar célú

Nem elégséges beavatkozási lehetőség

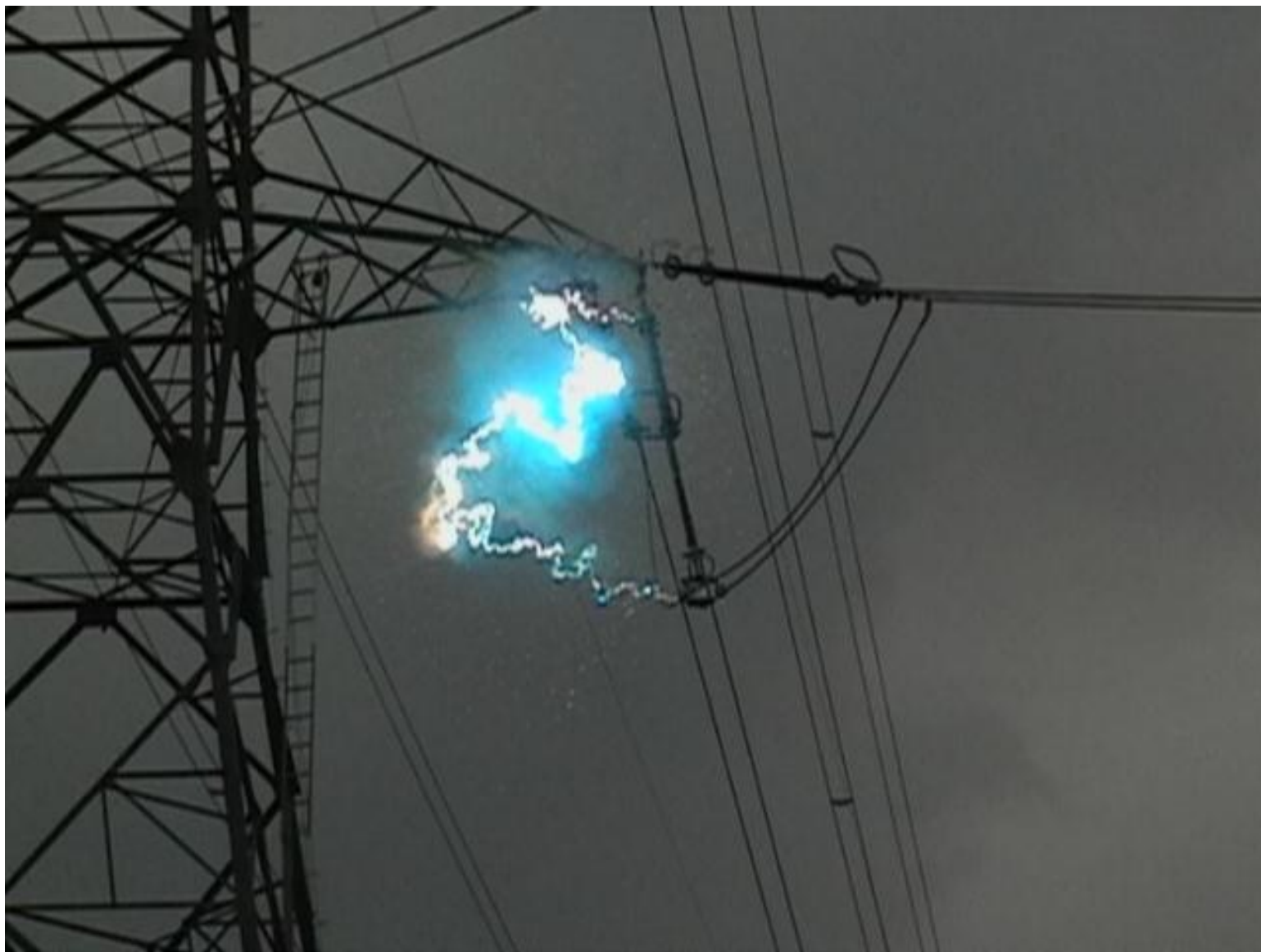
Hiányos információ



Zárlat (400 kV)



Zárlat (400 kV)



Zárlat (400 kV)







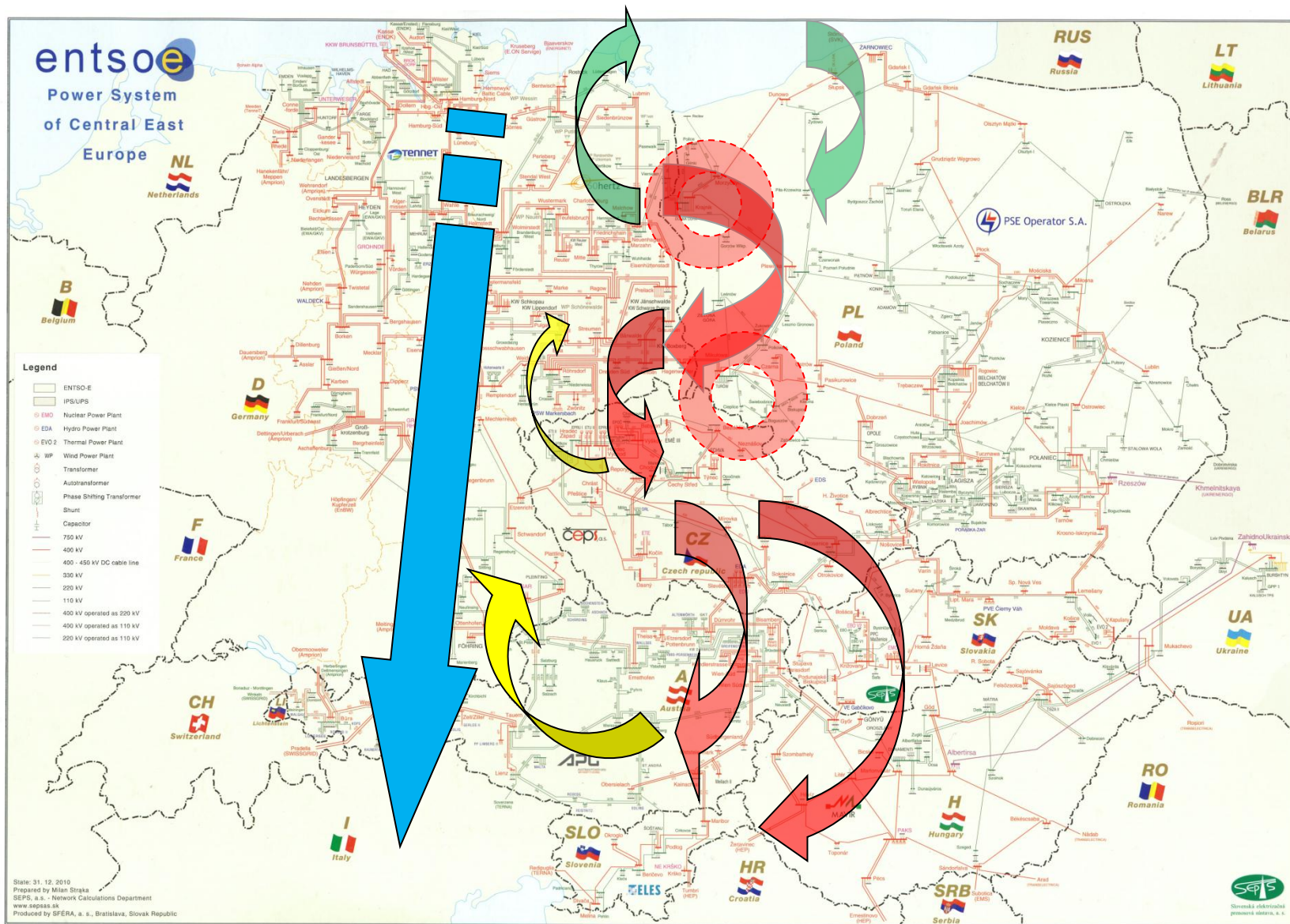




Cél: elkerülni szűk keresztmetszet kialakulását



Nem tervezett áramlások



A black-out reális veszély

1965 november 9.	Észak-Amerika, Kanada (30 millió)
1977 július 13.	New-York (9 millió)
1993 május 4.	Grúzia
1996. augusztus 10.	USA, Mexikó (15 millió)
1997 október 23.	San-Francisco (250 ezer, károkozás)
1998 január	Kanada, É-Amerika (~ 1 millió, több hét)
1998 december 8.	San-Francisco (~ 940 ezer, személyi hiba)
1999 július 6.	New-York, Manhattan (200 ezer)
2001 január 18.	San-Francisco (~ 1 millió)
2001 június	Nigéria (30-50 millió)
2002 november 24.	Buenos-Aires (2 millió)
2002 december 28.	Dánia (1 millió)

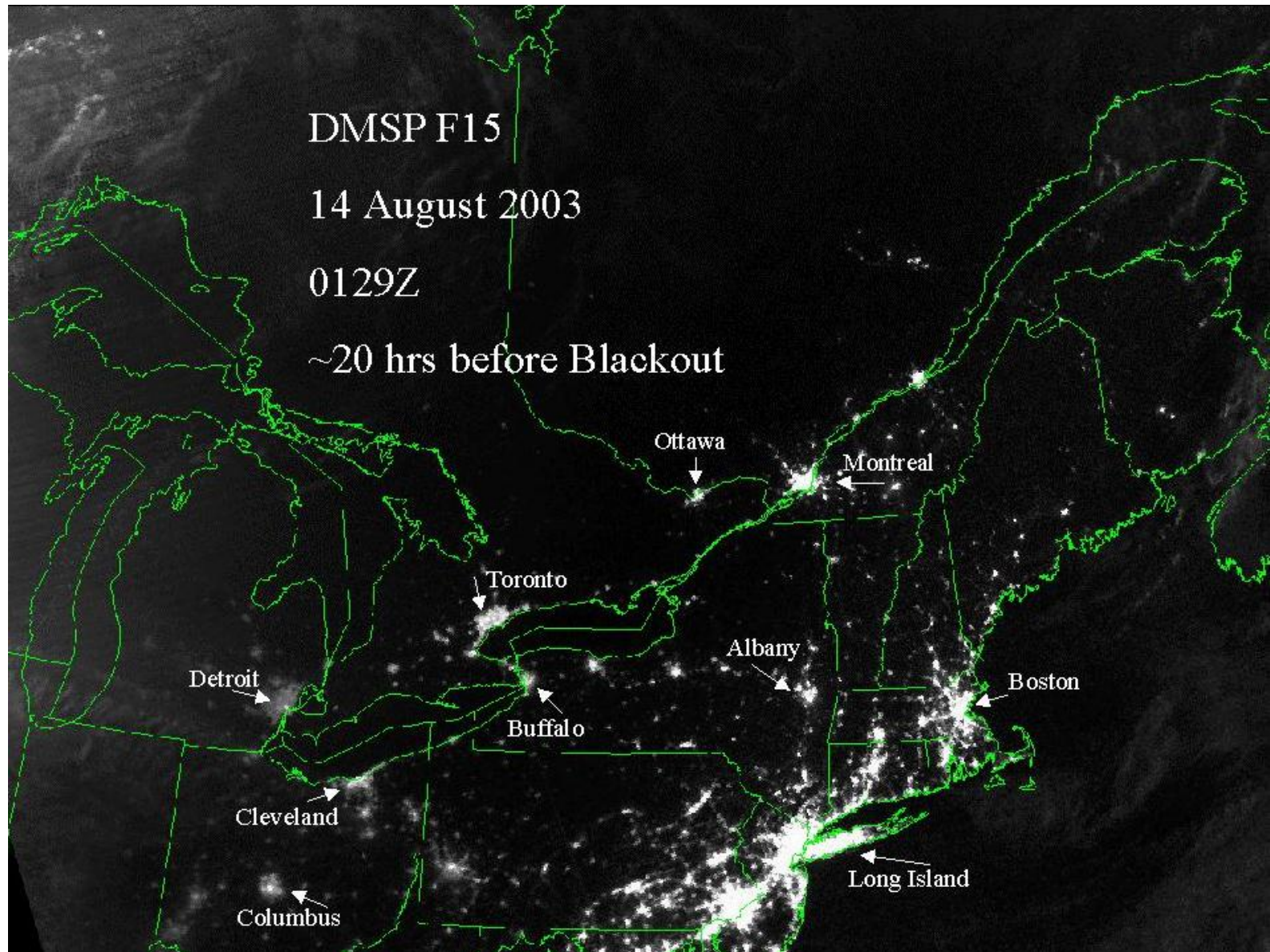
A black-out reális veszély

2003 február 3.	Algír (32 millió)
2003 augusztus 14.	USA, Kanada (50 millió)
2003 augusztus 18	Grúzia
2003 szeptember 23	Svédország, Dánia (5 millió)
2003 szeptember 28.	Olaszország
2003 október 7.	Oroszország (~ 1800 település)
2003 november 7.	Chile (600 ezer)
2004 augusztus 9-10.	Jordánia (5,8 millió)
2005 május 25.	Oroszország (~15-20 millió)
2005 szeptember	USA (Louisiana, Mississippi)
2006 június 26.	Lengyelország (feszültség-összeomlás)
2006 július 25.	Csehország (sziget)

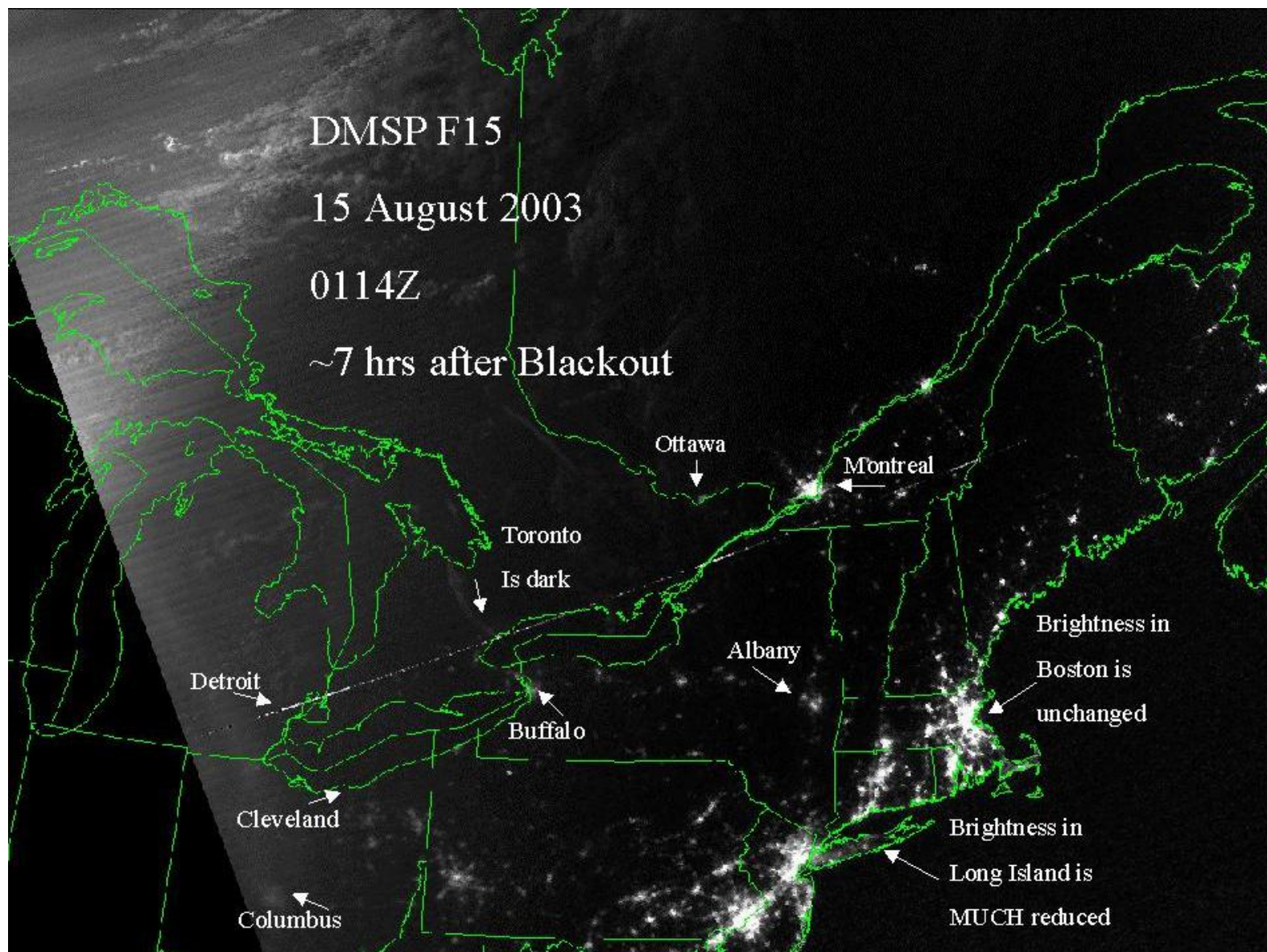
A black-out reális veszély

2006 november 4.	Európa (3 részre szakadt)
2007 április 27.	Kolumbia
2008 február 26.	Florida (4000 MW korlátozás)
2009 november 10.	Brazília, Uruguay (~50 millió)
2009 november	Tadzsikisztán
2010 augusztus 20.	Szentpétervár (~ 4 millió)
2012 július 30-31.	India (670 millió)

USA-Kanada 2003 augusztus 14.



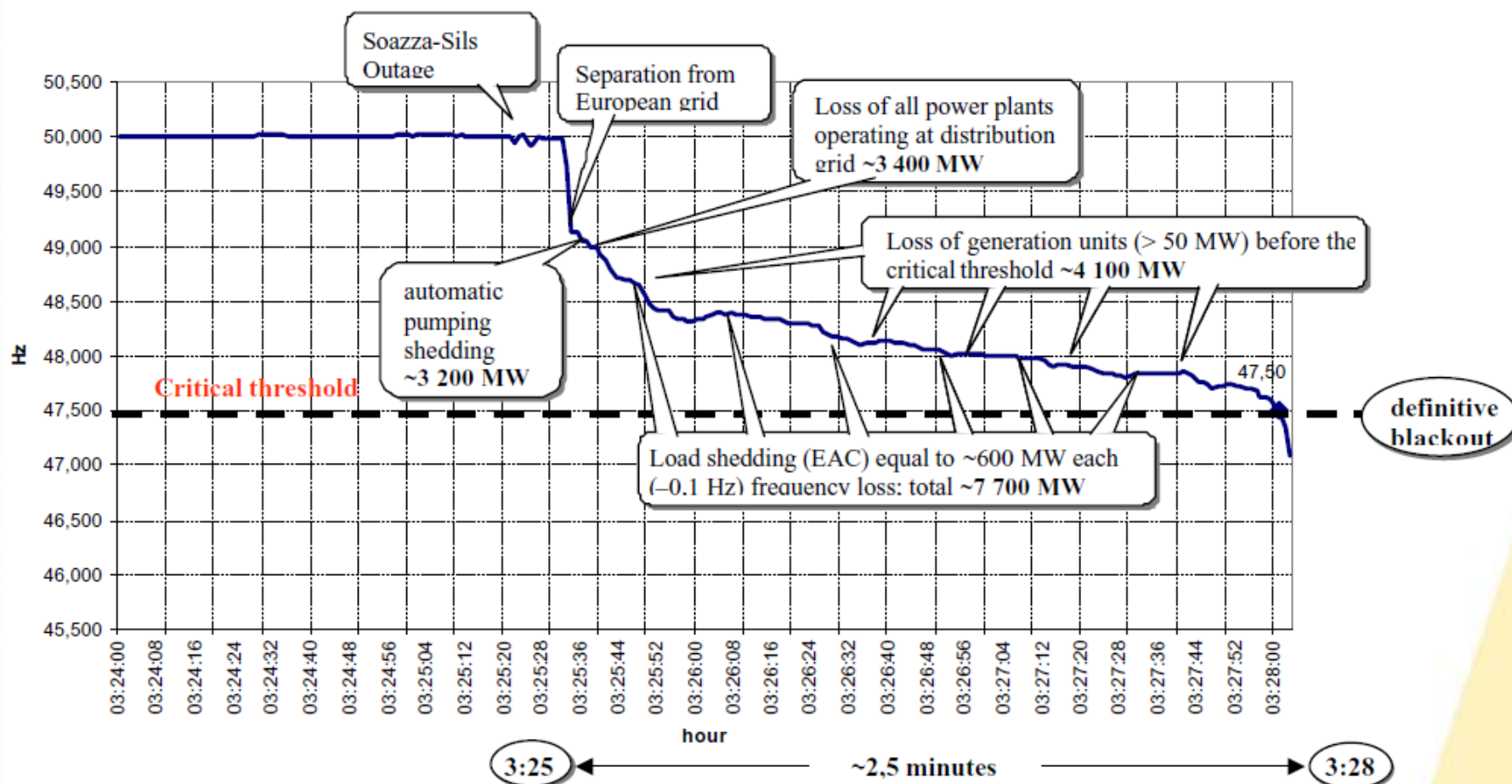
USA-Kanada 2003 augusztus 14.



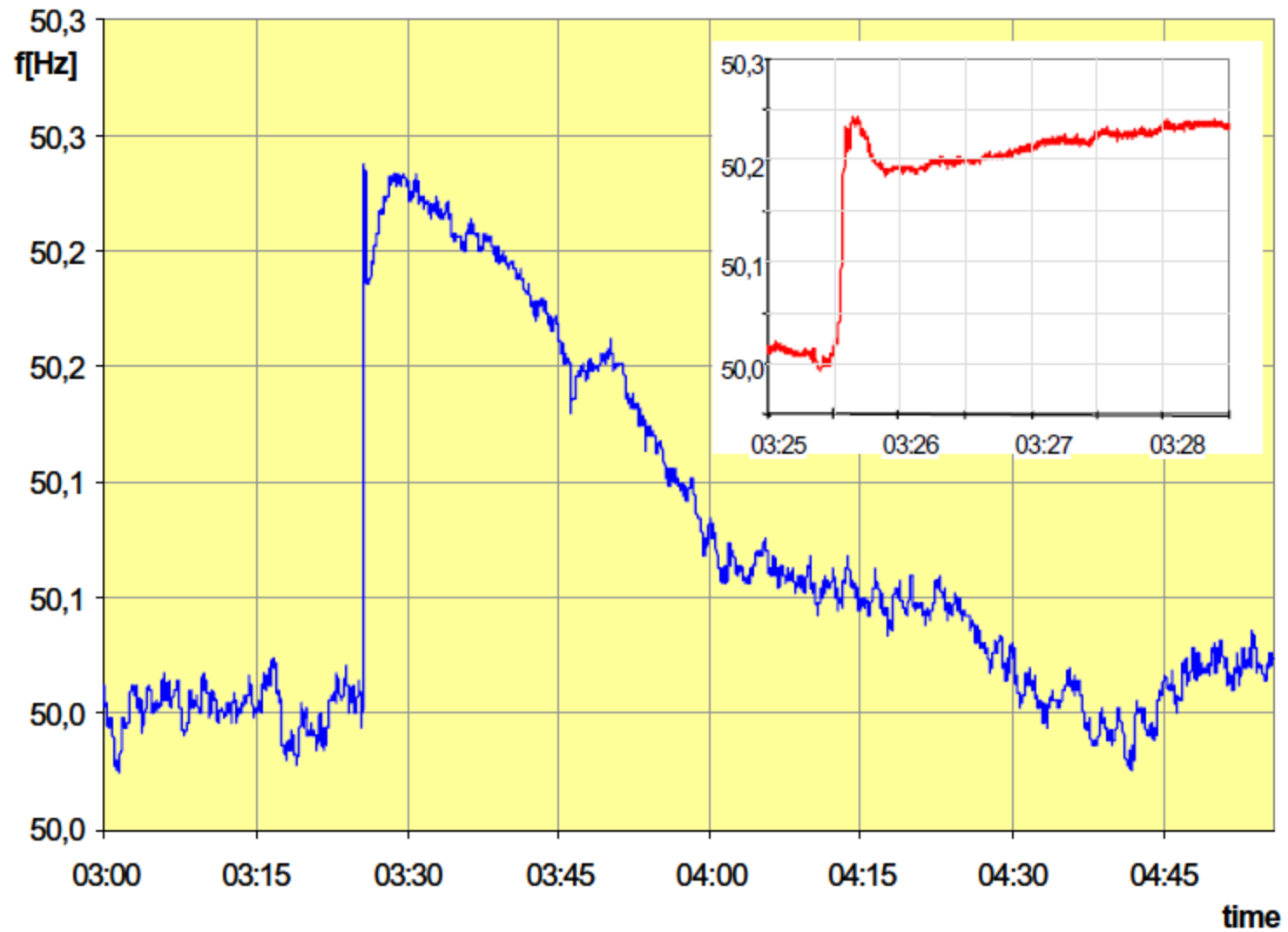
Olaszország, 2003 szeptember 28.

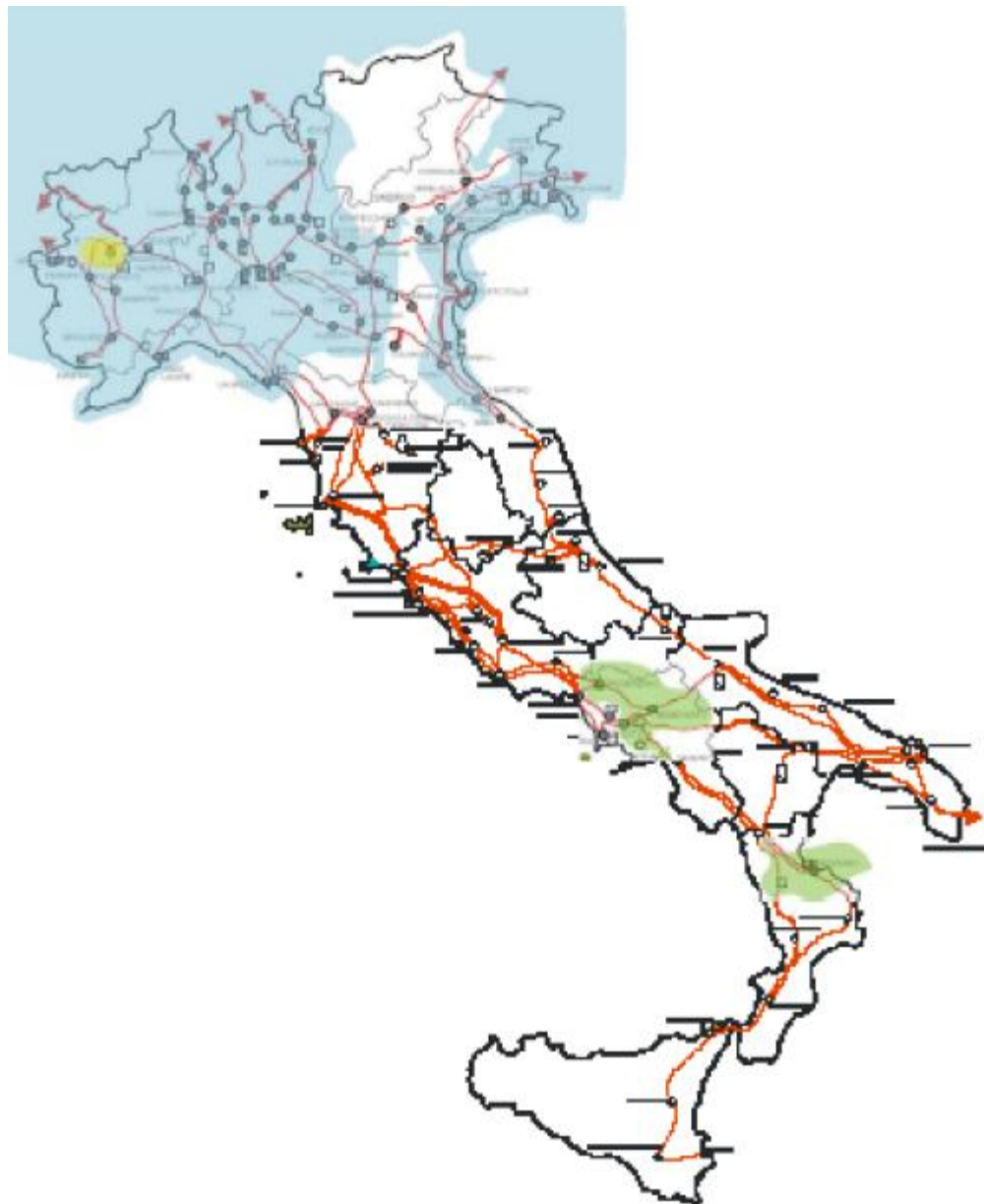


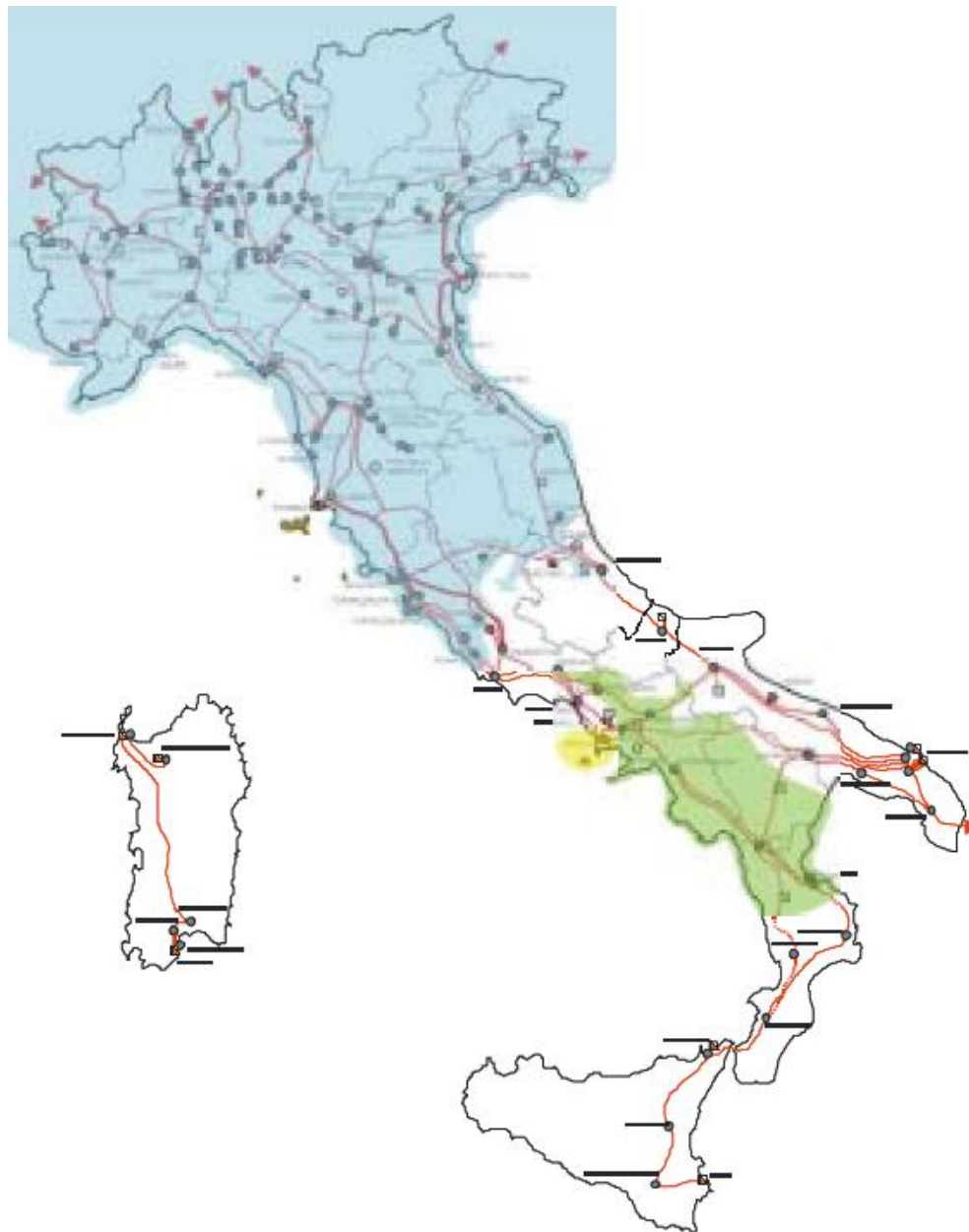
A kiesés fázisai



Hatás az európai hálózatra



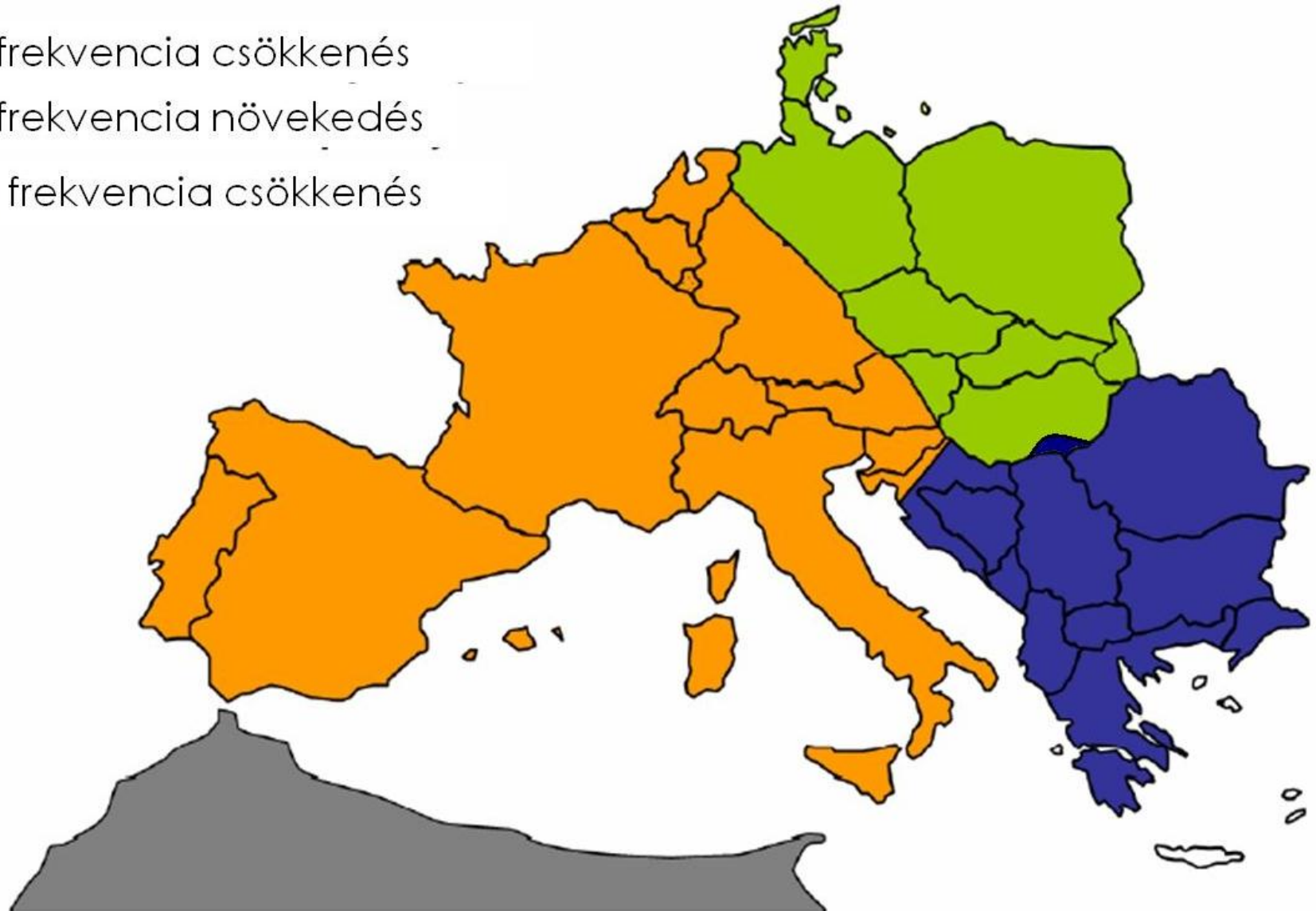




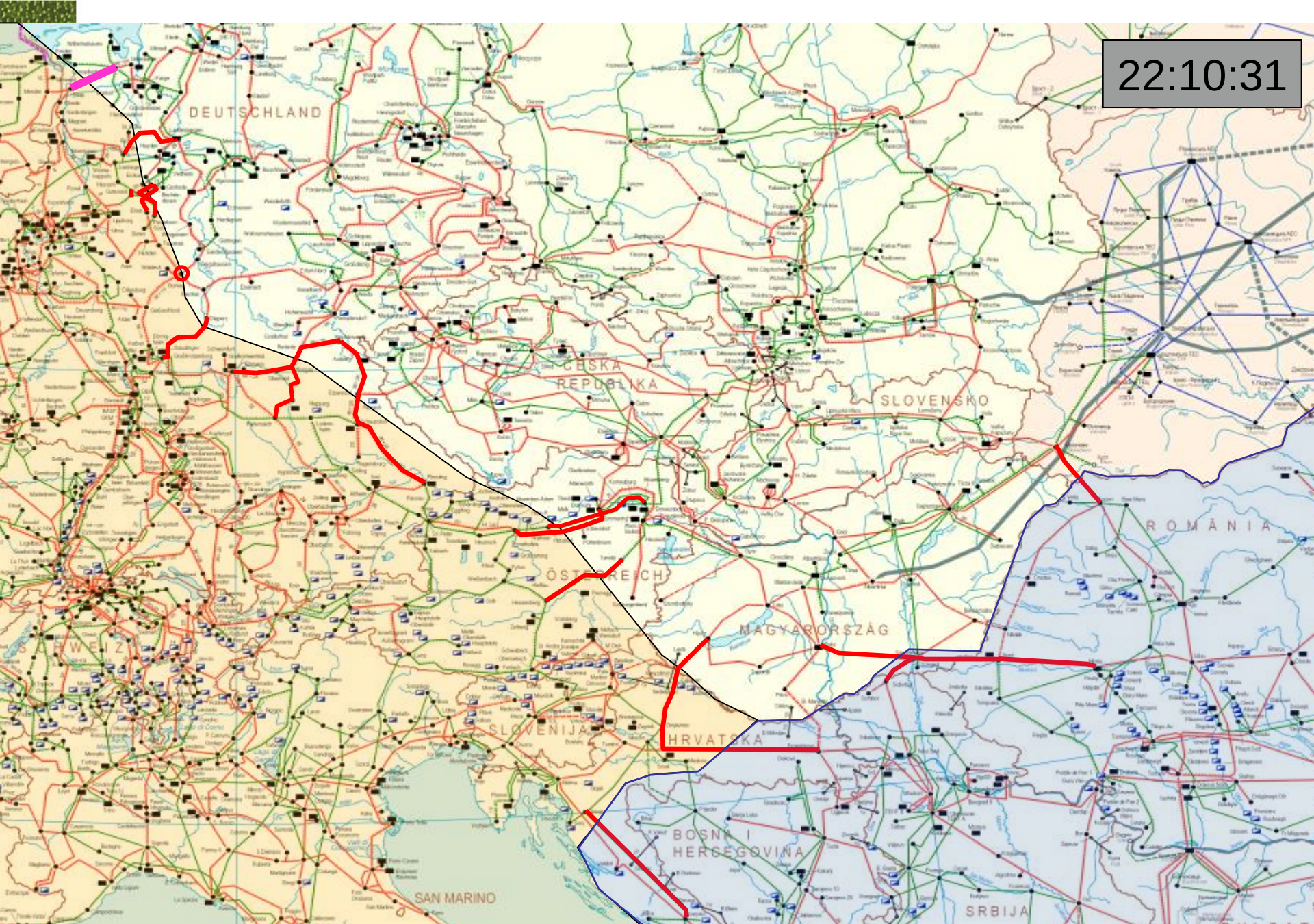


2006. november 4.

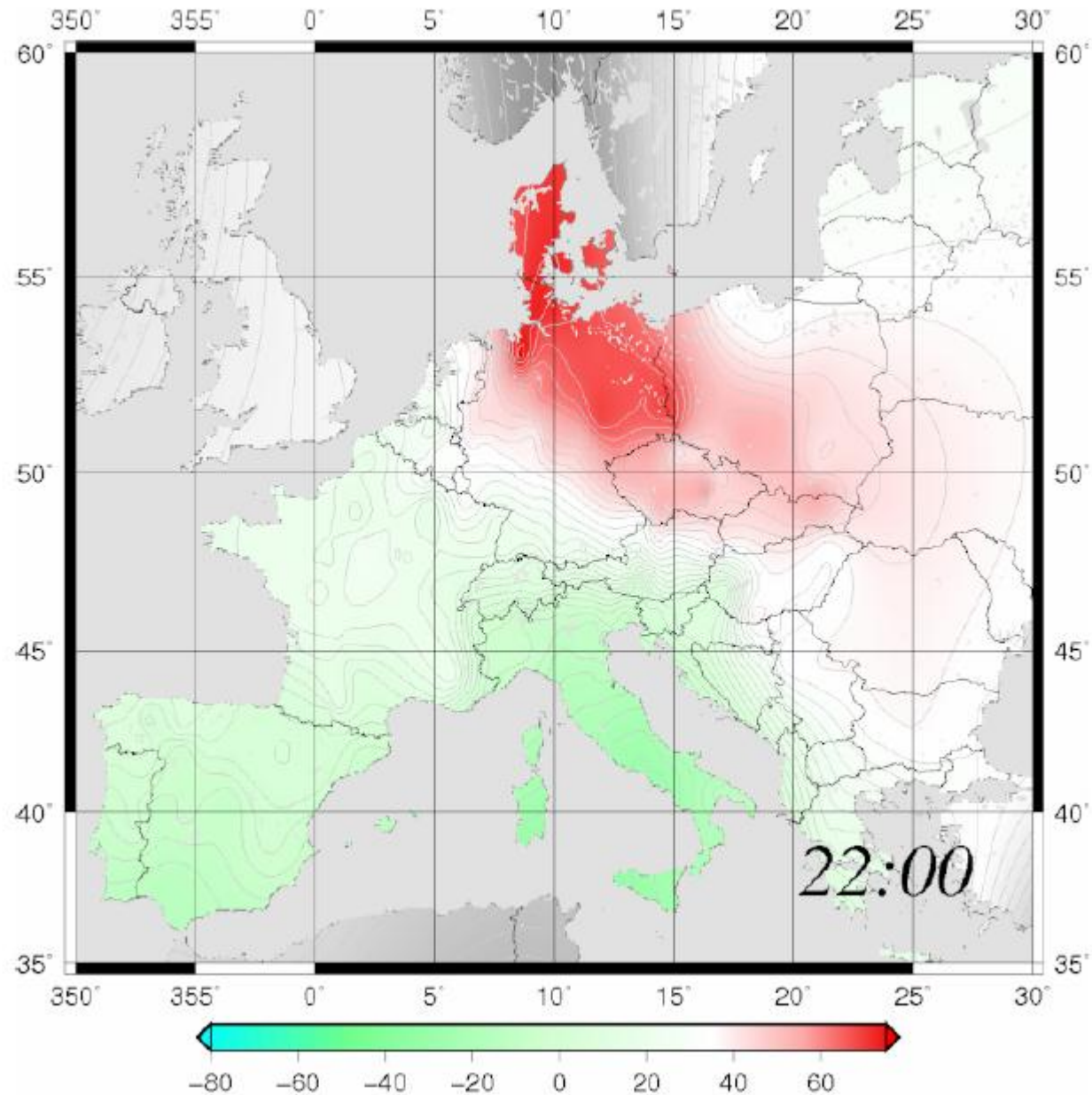
-  frekvencia csökkenés
-  frekvencia növekedés
-  frekvencia csökkenés



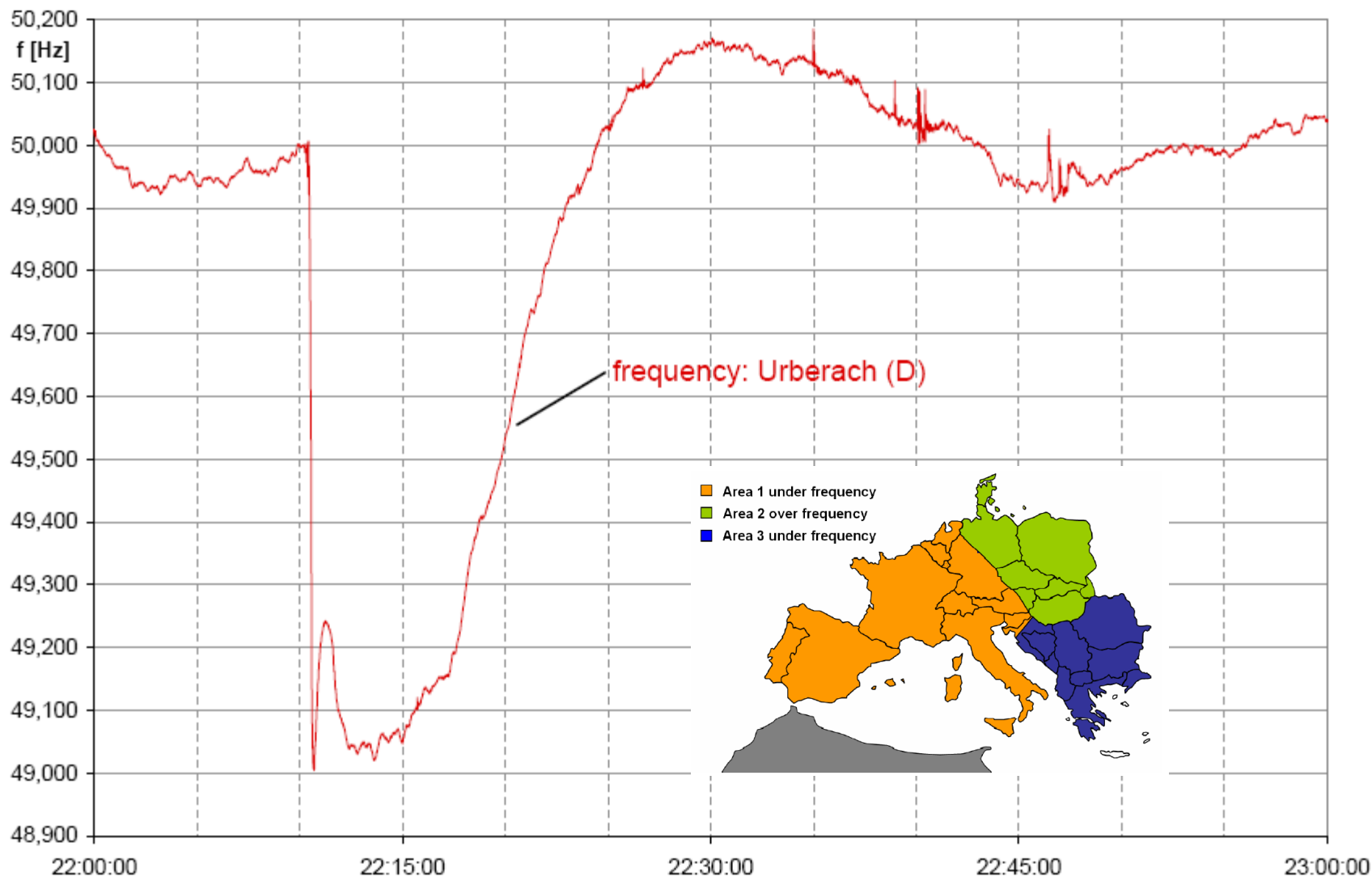
22:10:31



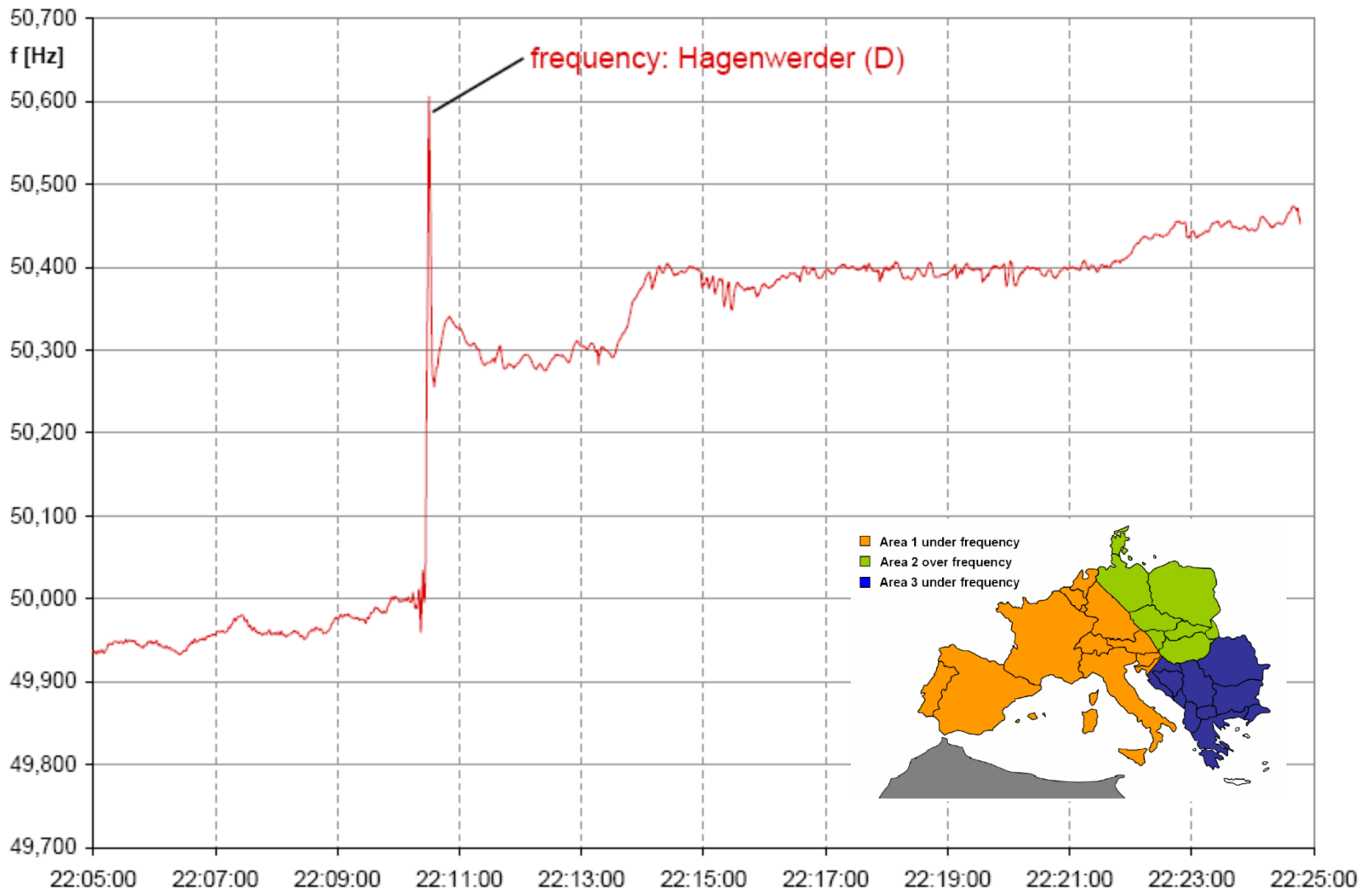
Fáziszögek

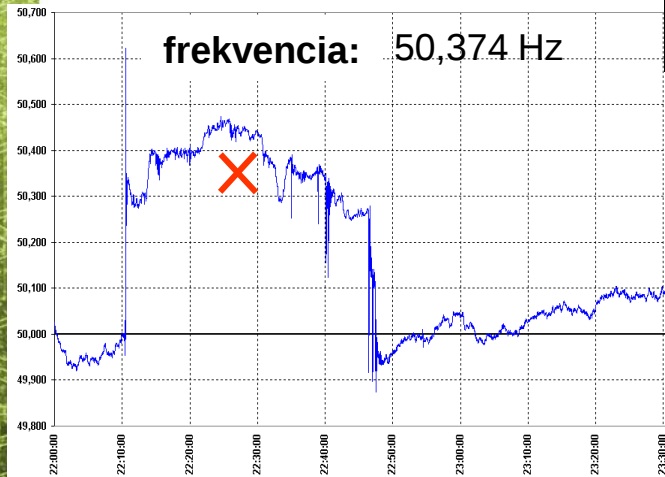
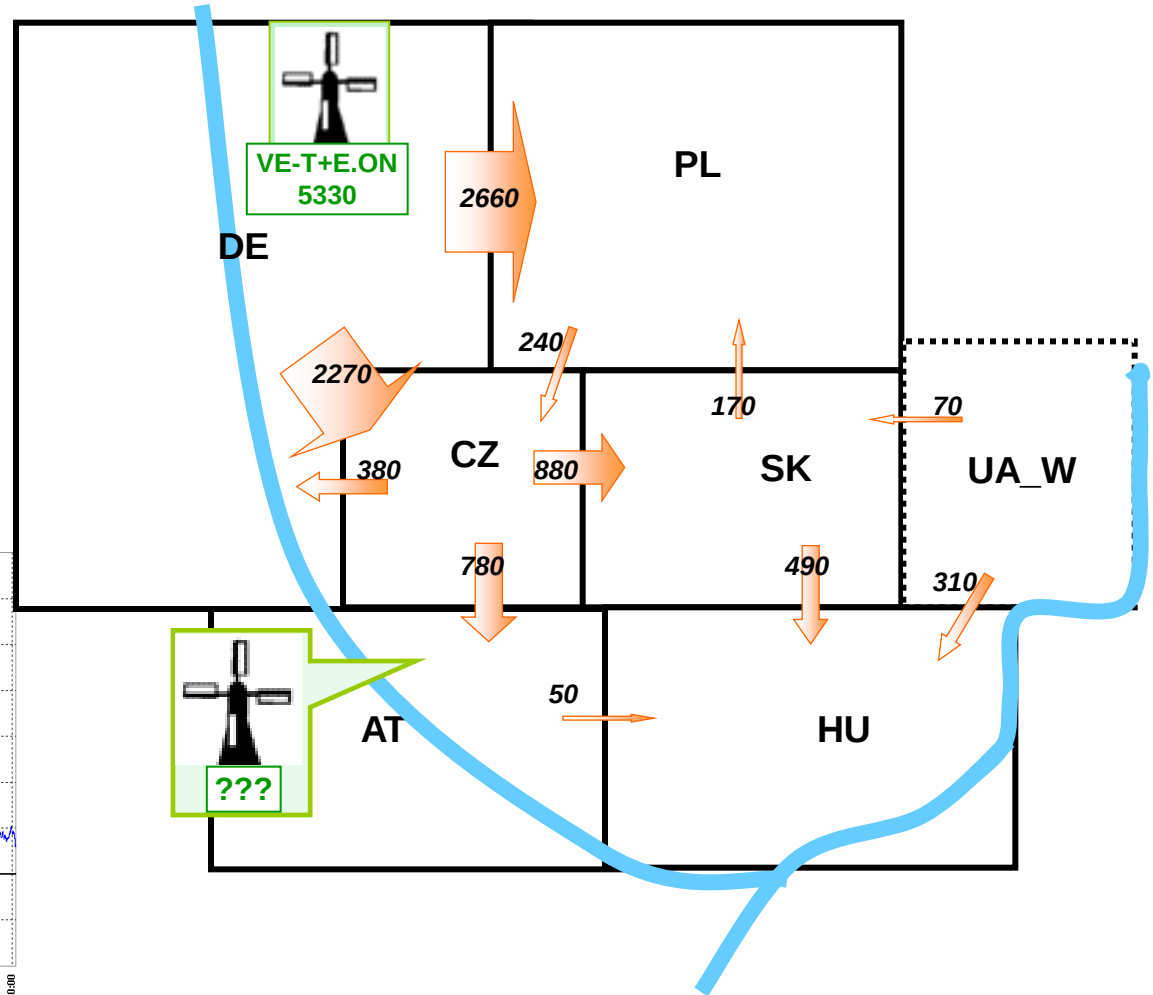


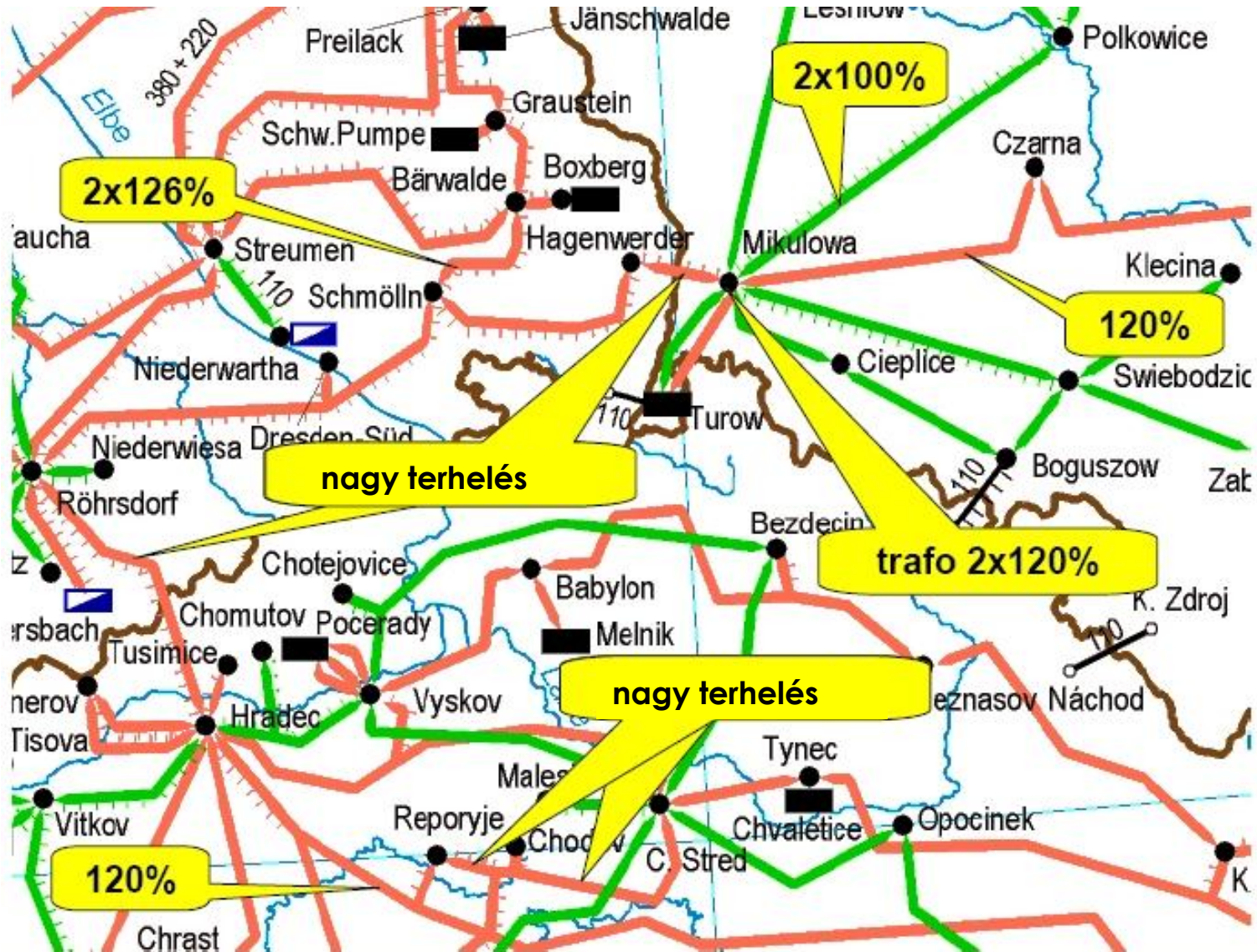
Frekvencia a nyugati rendszerben

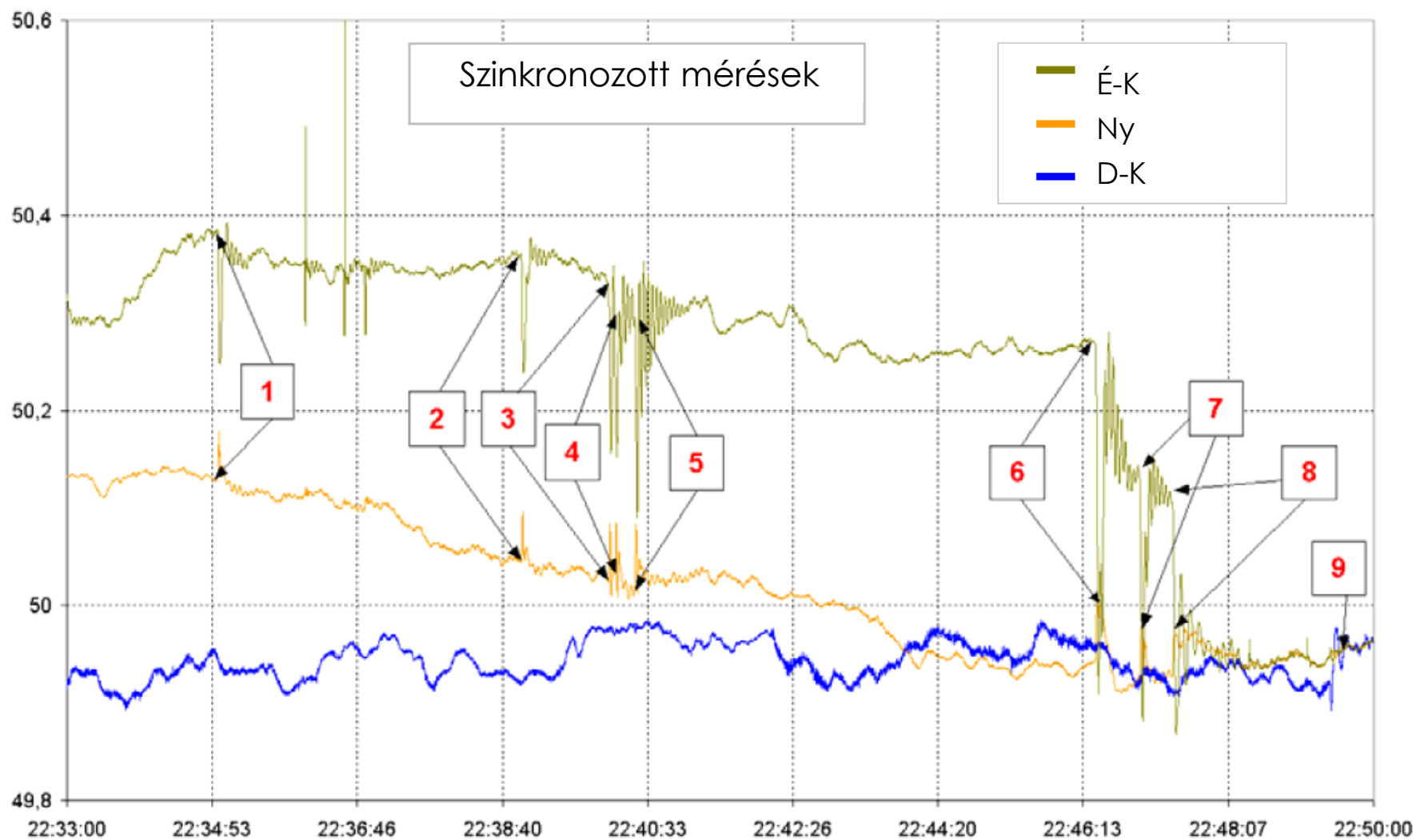


Frekvencia az észak-keleti rendszerrészben



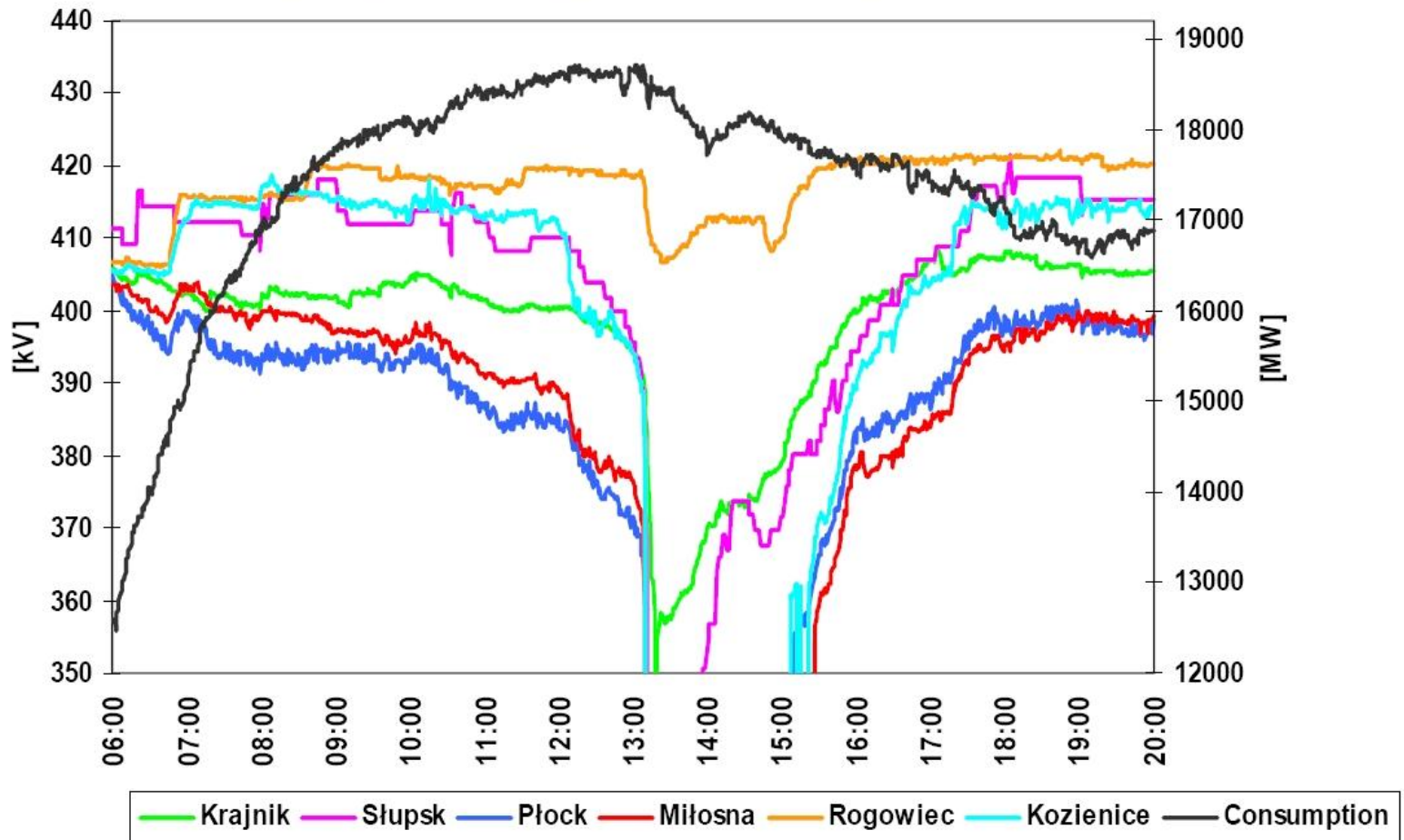




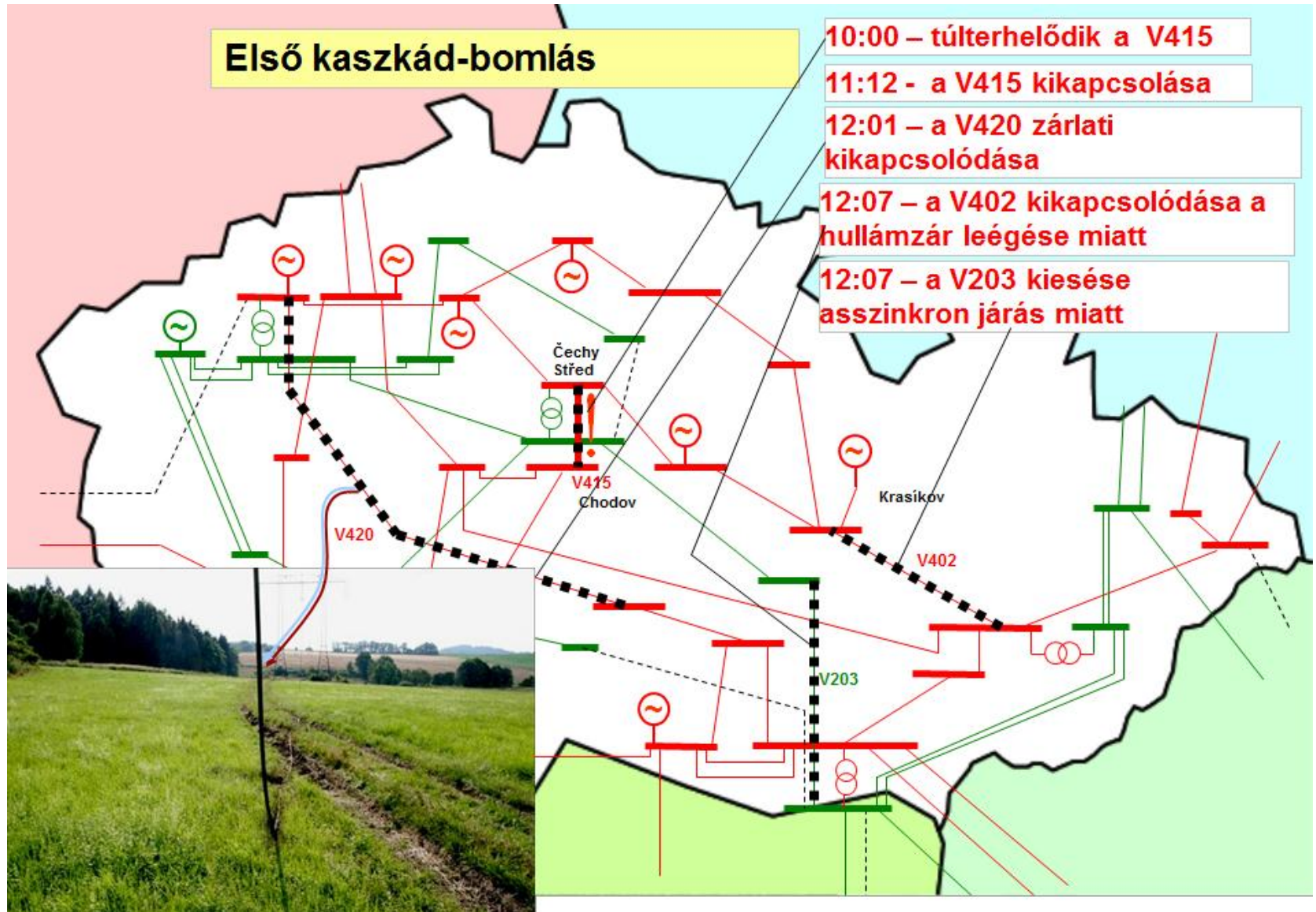


Feszültség-összeomlás Lengyelországban

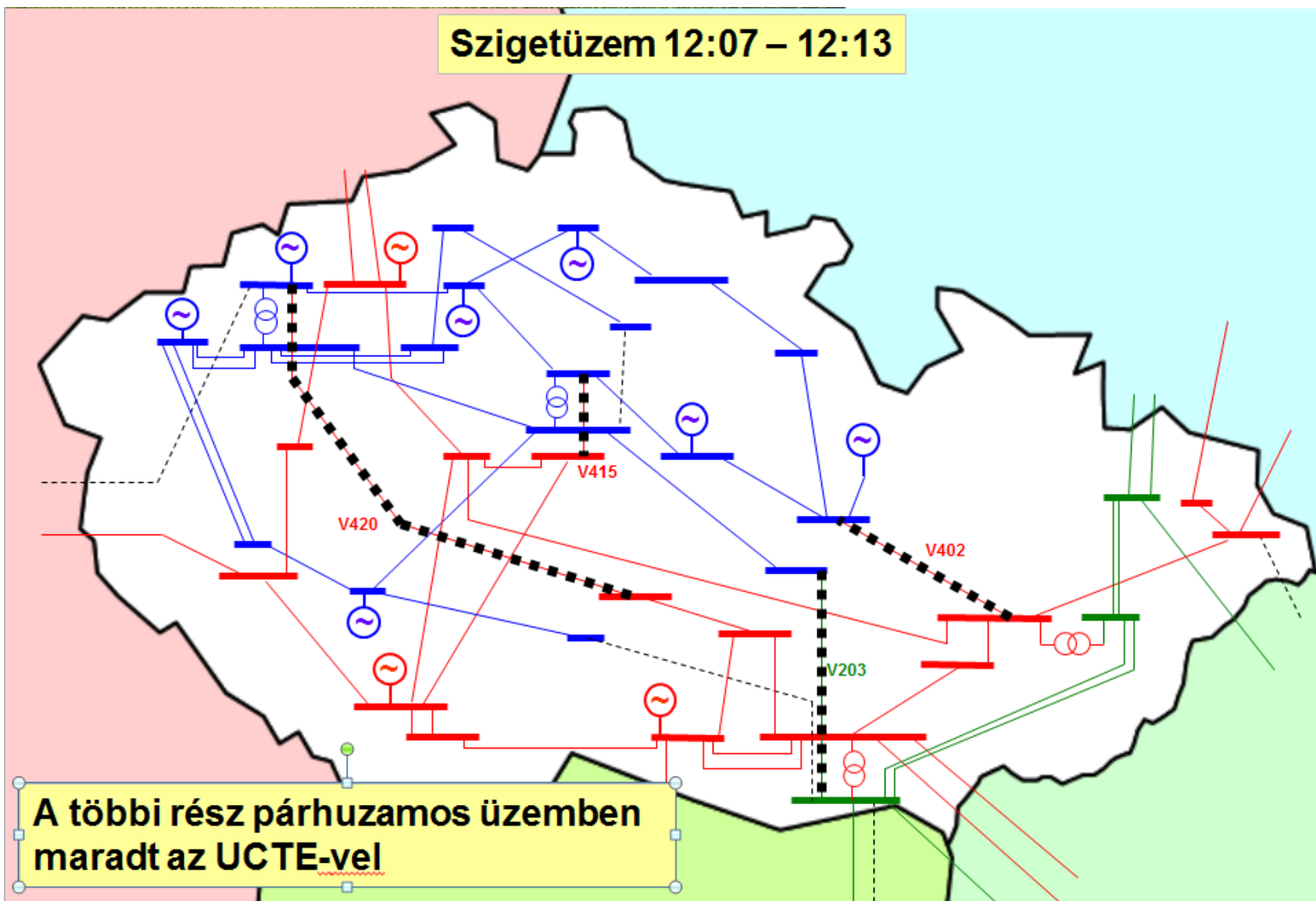
Feszültségek a 400 kV-os hálózaton



Egy elem túlterhelődésével indult



Szigetüzem 12:07 – 12:13



A második kaszkád bomlás

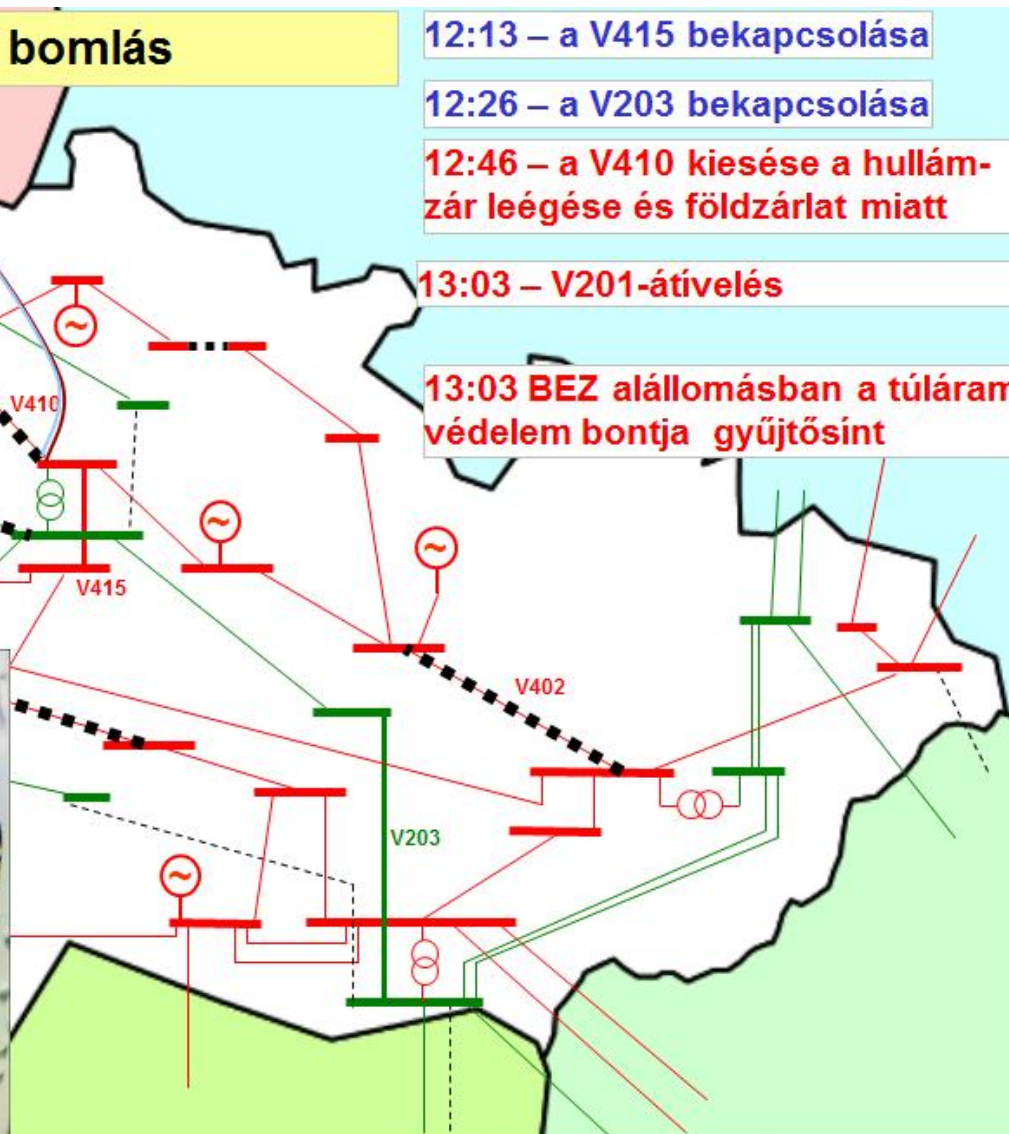
12:13 – a V415 bekapcsolása

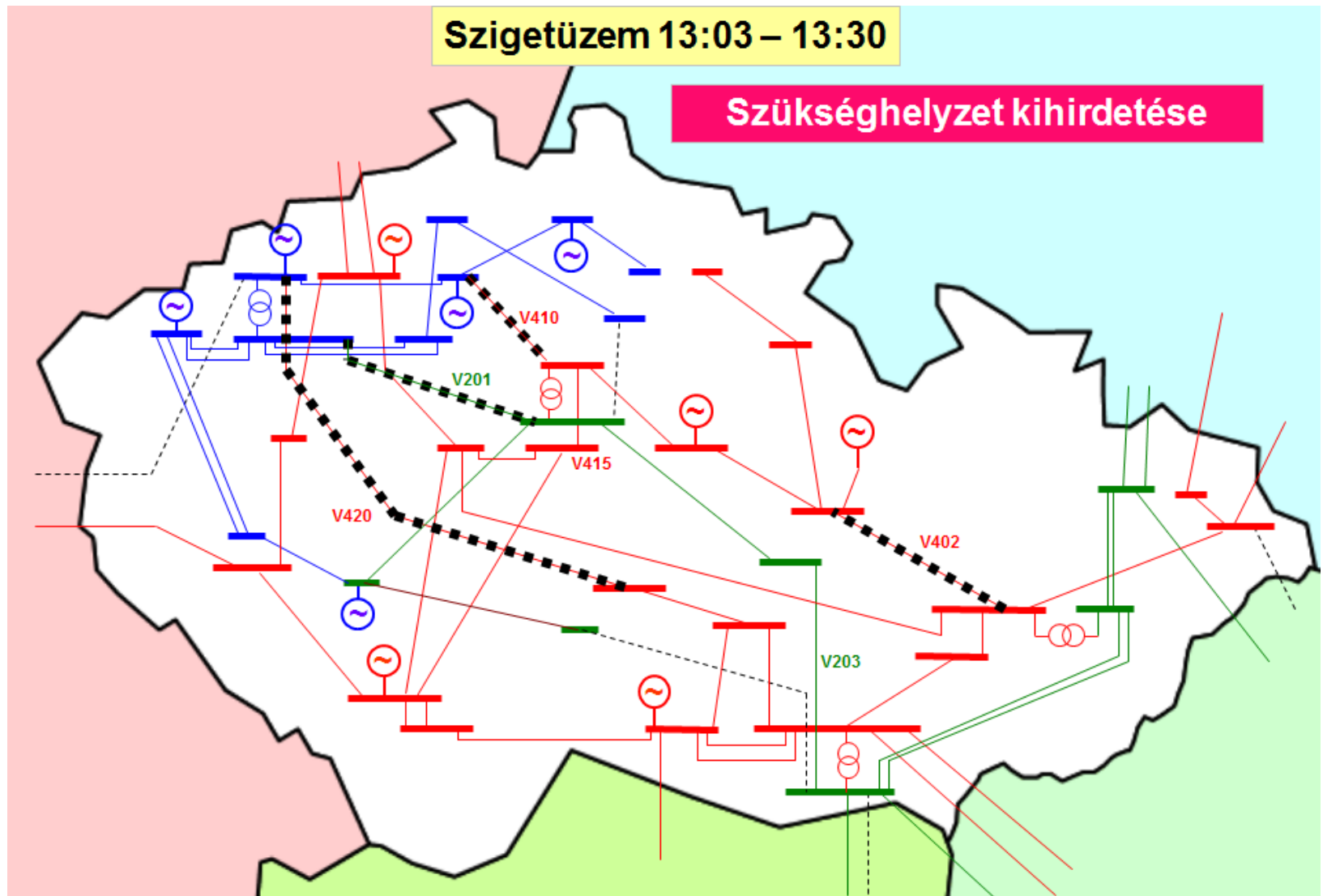
12:26 – a V203 bekapcsolása

12:46 – a V410 kiesése a hullám-
zár leégése és földzárlat miatt

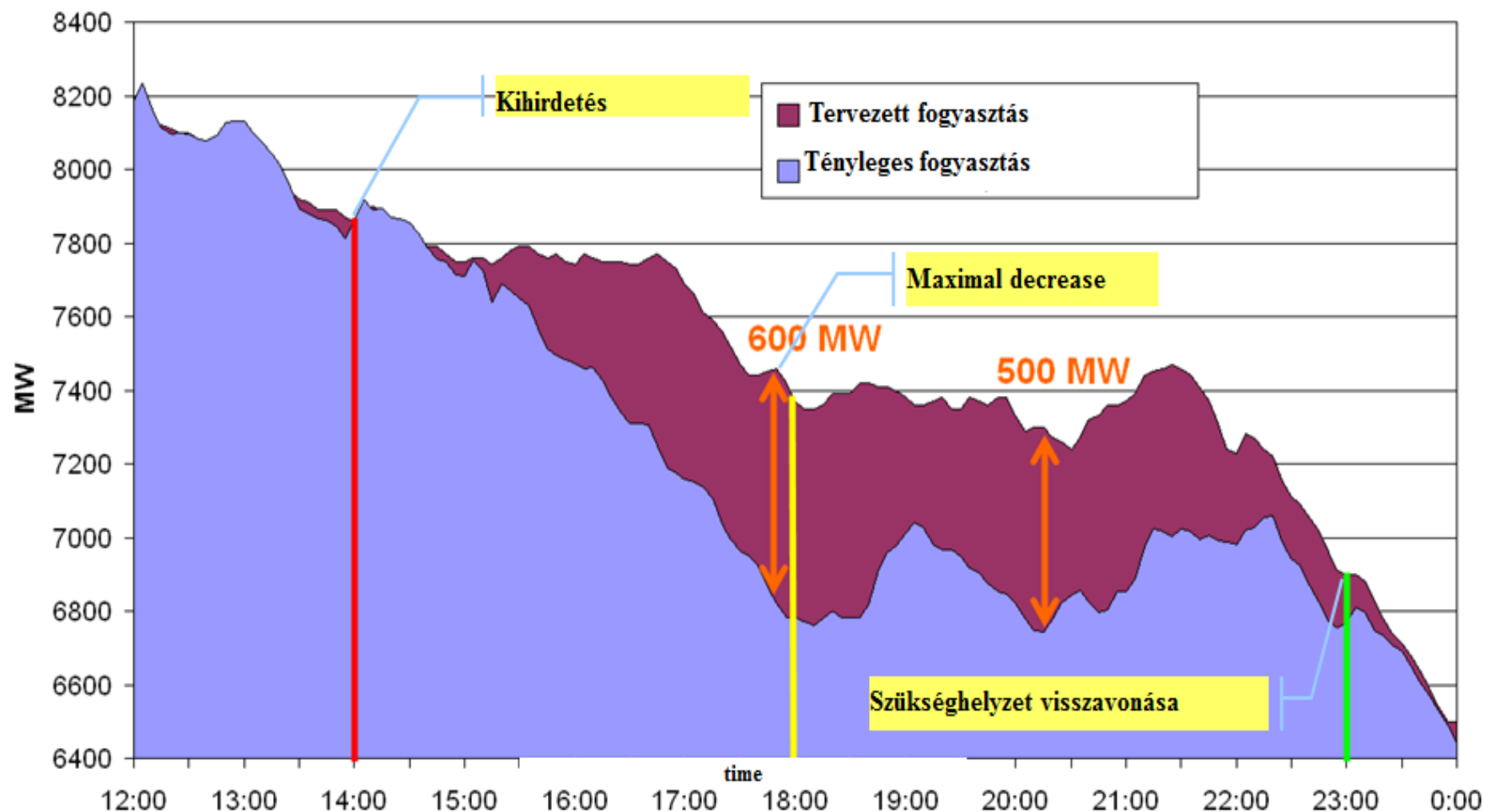
13:03 – V201-átívelés

13:03 BEZ alállomásban a túláram
védelem bontja gyűjtőszint





Önkéntes fogyasztáscsökkentés



Rendszer-üzemzavarok megelőzése

Minden nagy üzemzavar egy sokkal kisebb jelentőségű eseménnyel - termelés kiesés vagy hálózati zavar - kezdődik (de a baj nem jár egyedül).

Legbiztonságosabb, ha az esemény következményeit még a bekövetkezése előtt szüntetjük meg. Ezt szolgálja a gondos üzem-előkészítés. Célja, hogy a tervezett üzem teljesítse az N - 1 elvárást. A rendszeren belüli üzem-előkészítés mellett elkezdődött a rendszerirányítók régió szintű együttműködése (pl. TSC) a következő napi üzem-előkészítésben. Várható a folyamat napon belüli szintre emelése.

Ha az esemény bekövetkezik, fontos annak azonnali észlelése, gyors értékelése és következményeinek megelőzése, illetve csökkentése, ami nem mindig fájdalommentes (fogyasztói korlátozás).

Nagy mennyiségű, jól feldolgozott, könnyen értelmezhető információra van szükség.

Mérések

- teljesítmény
- feszültség
- frekvencia
- fázishelyzet

Jelzések

- ki - be
- határértékek
- hőmérsékletek
- védelmi működések

Ne felejtsük ki az információk alapján döntést hozó, képzett, a feladatra felkészített humán erőforrást (régiesen: a hozzáértő embert).

Rendszerirányítás:

A fogyasztás és termelés egyensúlya
(szaldó-szabályozás)

Az üzem felügyelete (mindenről tudjunk,
ami a villamos energia termelése és
szállítása során történik)

Az operatív üzemirányítás helyszíne



A beavatkozás eredményességét növeli, ha az észlelés, döntéshozatal és a végrehajtás szoros egységben, egy helyen történik.

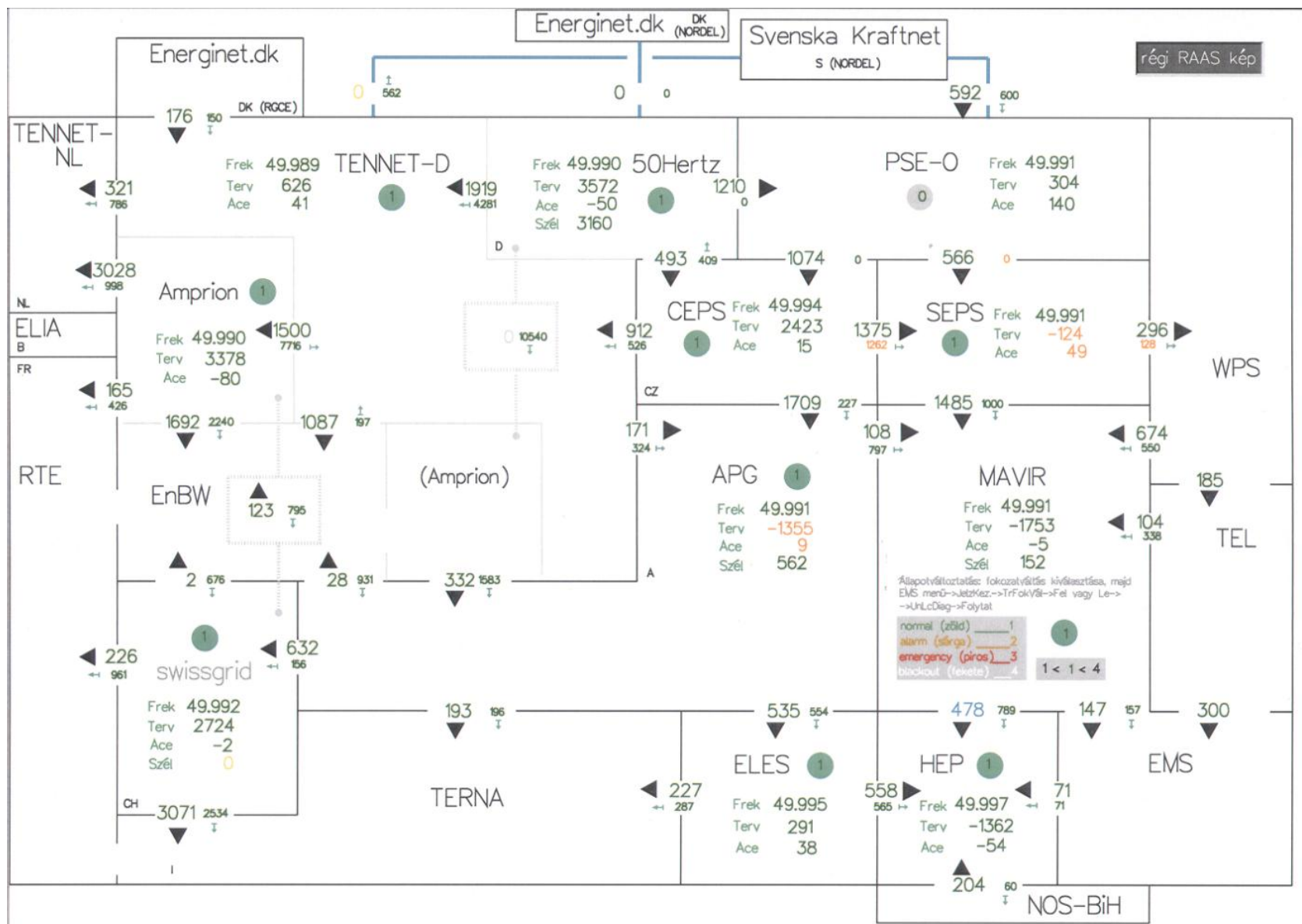
Ezt szolgálja az átviteli hálózati berendezések távkezelésének megvalósítása.

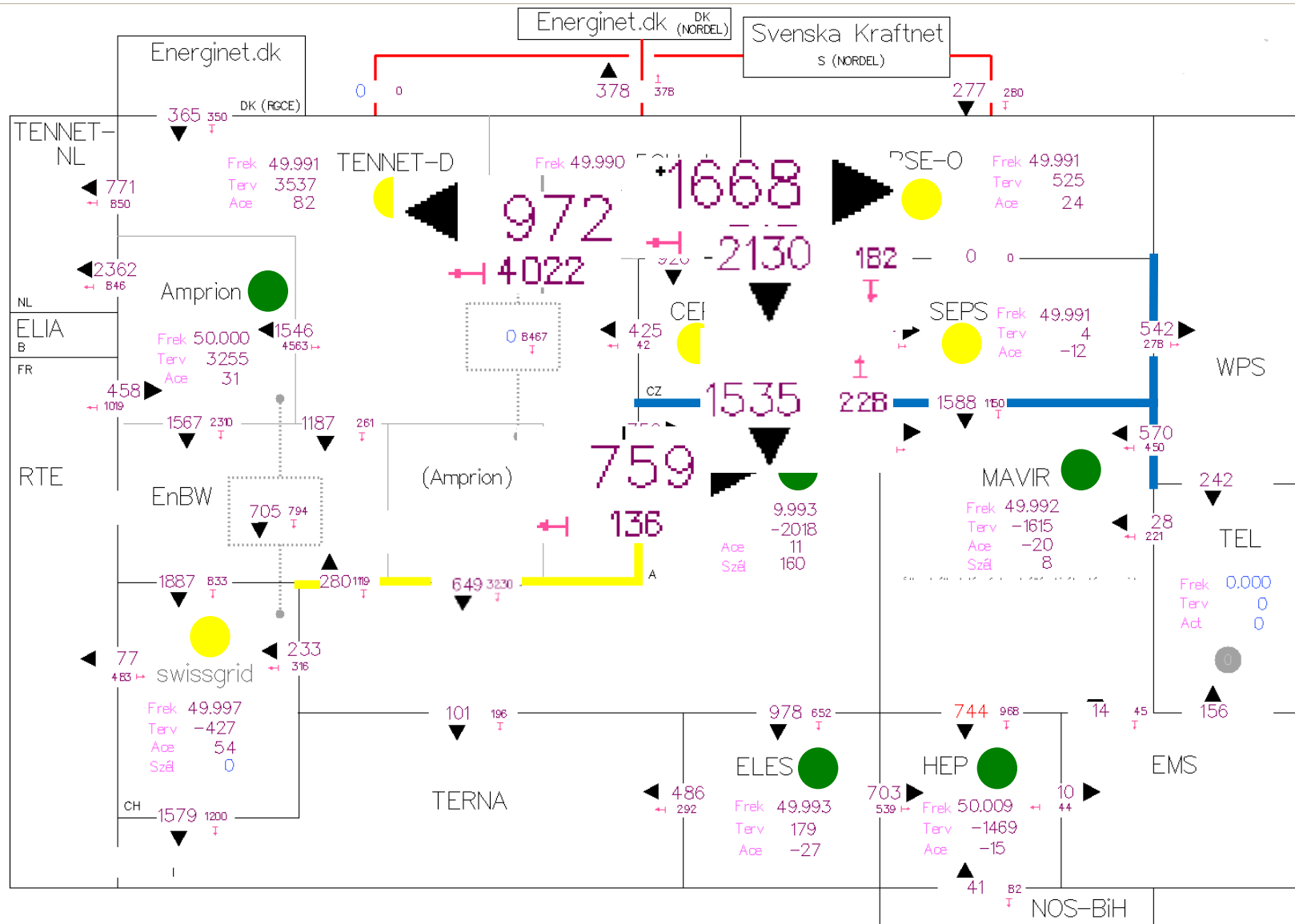
A távkezelés alapja a megbízható informatikai háttér és a képzett személyzet.

28 ½ távkezelt átviteli hálózati alállomás



Valós idejű üzemzavari jelzőrendszer

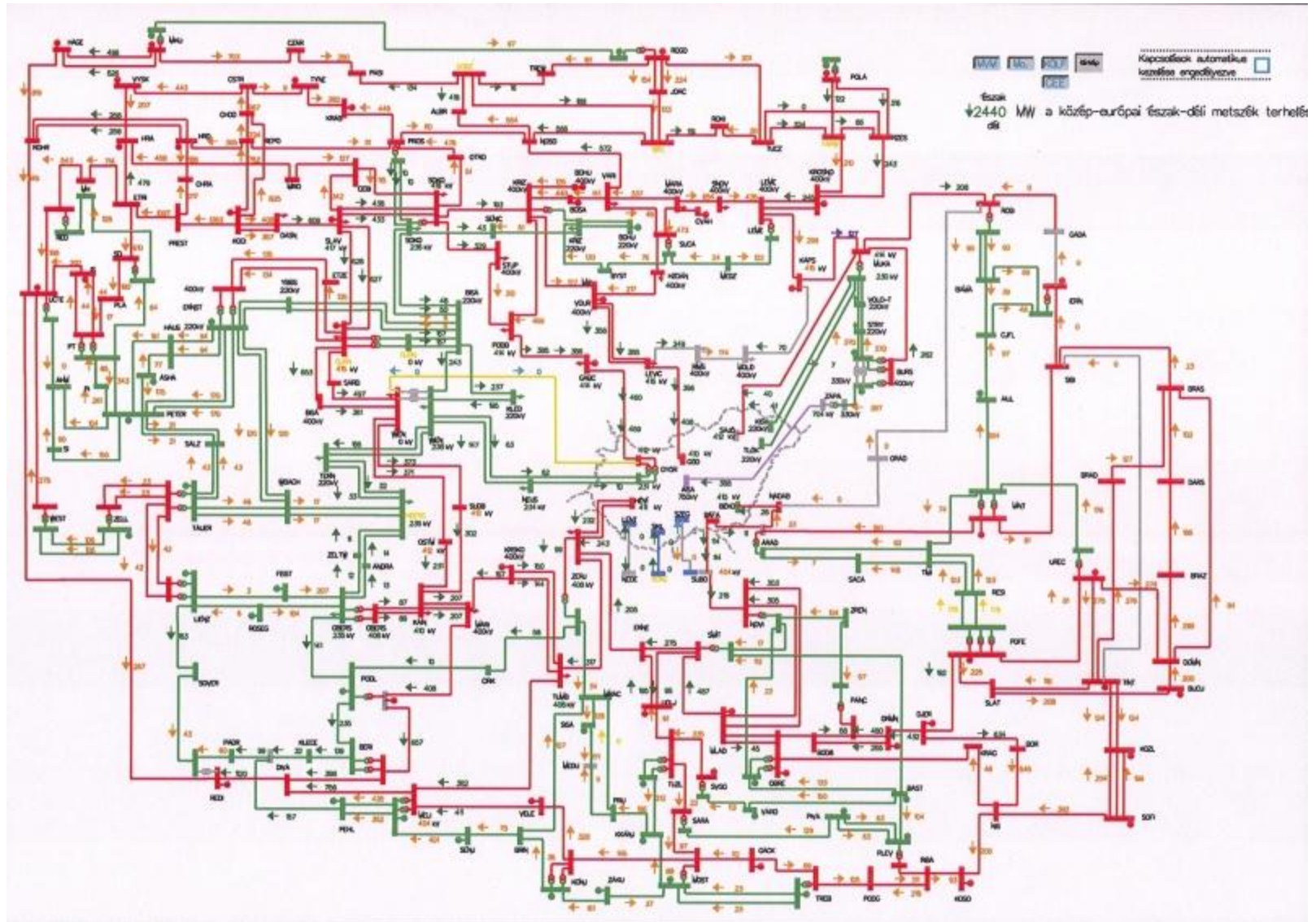




A veszély ismerete is növeli a biztonságot



Információk az európai hálózatról



Köszönöm a figyelmet!



Rendszer- helyreállítás



ZERÉNYI József

rendszerirányítási főmunkatárs

MAVIR Zrt.

(+3620 929 4570, zerenyi@mavir.hu)

Energetikai Szakkollégium

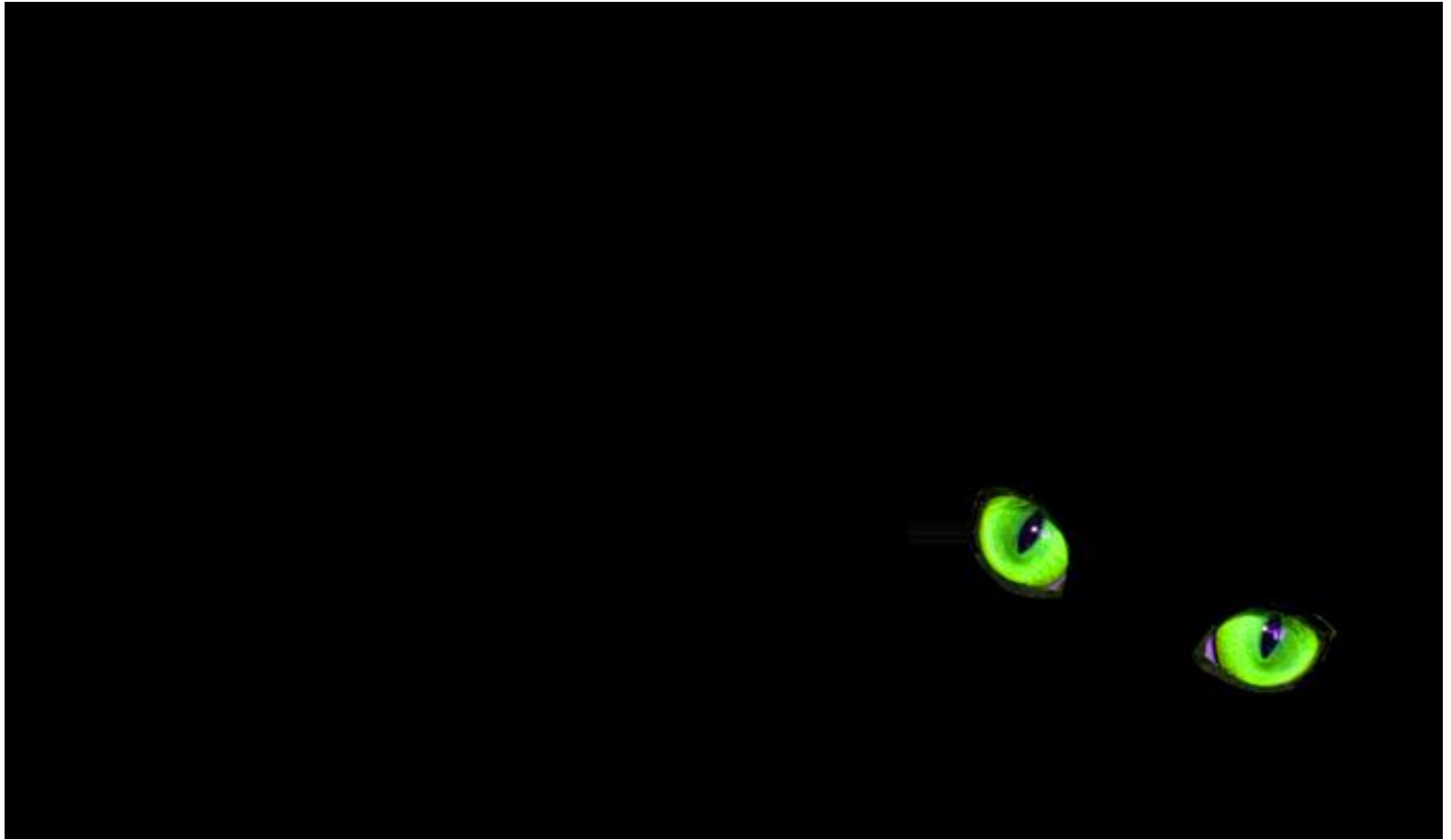
2014. október 2.

MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli
Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság

*MAVIR Hungarian Independent
Transmission Operator Company Ltd.*



MB | **MAGYAR
BRANDS
2012**



Ha villany nincs – semmi sincs!



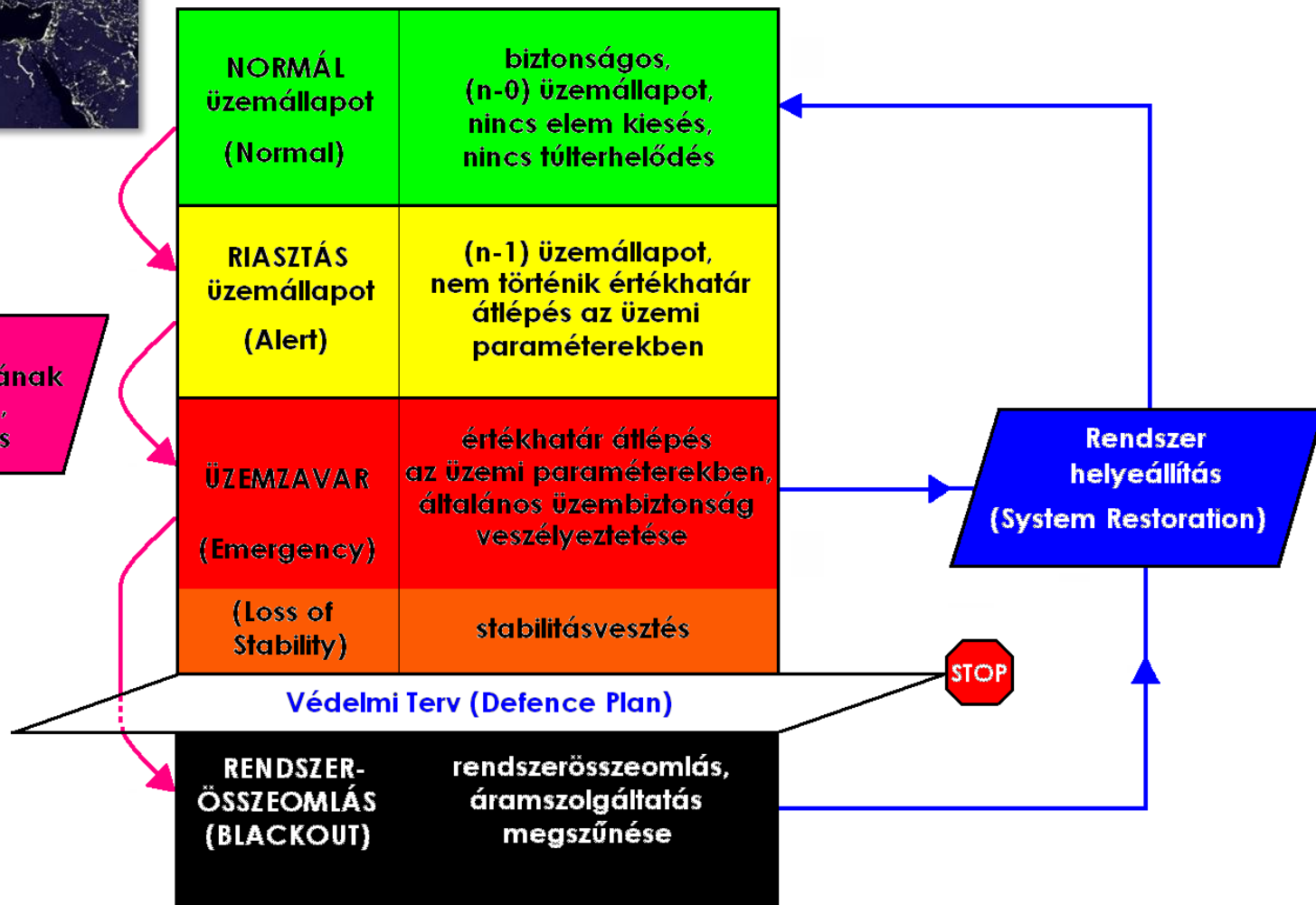
Az előadás célja:

Szakmai tájékoztatás, ismeret bővítés.

- Rendszer-üzemzavarok és az üzemzavarokhoz vezető helyzetek elemzésének eszközei, módszerei.
- Üzemzavarok során megfigyelhető jelenségek (lengések, rezonancia, stb.).
- Rögzített paraméterek, azok feldolgozása, következtetések.
- Rendszer helyreállítási terv.



Rendszer
üzembiztonságának
csökkenése,
állapotromlás



Normál üzemállapot (normal state):

- Minden, a VER üzemére jellemző állapotváltozó a megadott határértékeken belül van mind alap, mind túlterhelt (contingency state) üzemállapotban.
- Normál üzemállapot: a frekvencia, a feszültség és a terhelési értékek a biztonságos működés határain belül helyezkednek el.
- Túlterhelődések: előre meghatározott korrekciós, a helyzetet javító intézkedések [remedial actions] történnek a rendszerirányító diszpécser reakcióidejében.

Riasztás üzemállapot (alert state):

A VER-ben túlterhelődések: a jellemző állapotváltozók ugyan a megadott határértékeken belül vannak, de

- a túlterhelődés kedvezőtlen hatással van a szomszédos rendszer(ek)re,
- **alap üzemállapotban biztonságos működés** (az üzemállapot stabil a frekvencia, az átviteli és feszültség határértékek szempontjából, de a tranzit áramlások és a terhelések megnövekedése a feszültségviszonyok romlásához vezet),
- **legalább egy, túlterhelődéssel járó esetben az (n-1) biztonság nem érvényesül,**

- a lehetséges javító intézkedések teljes mértékben és késleltetés nélkül megtörténtek az (n-1) biztonság helyreállítása érdekében és ezen gyors reagálási lehetőségek a továbbiakra nézve kimerültek,
- az IT infrastruktúra területén csökken a VER megfigyelhetősége.

A rendszerirányító komoly bizonytalanságba kerül a normál üzemállapotba való késleltetés nélküli visszatérés terén.

(A további javító intézkedések hiányában nagy a valószínűsége annak, hogy a VER egy még veszélyesebb üzemállapotba kerül egy újabb túlterhelődés vagy a terhelések fokozatos növekedése miatt.

Az így kialakuló üzemállapot kiváltó oka lehet:

- időjárási viszonyok megváltozása, elsődleges vagy tartalék SCADA rendszer működésképtelensége,
- üzembiztonsági számítások ellehetetlenülése,
- erőművi forráshiány,
- eredetileg nem kiegyenlített rendszer további tartalékok nélküli üzemeltetése, stb.)

Üzemzavar (emergency state):

- **A rendszer jellemző állapotváltozói kívül kerülnek az elviselhetőség határán,**
- **A VER üzemállapota jelentősen kihat a szomszédos energiarendszer(ek)re.**
- **A frekvencia, az átviteli és a feszültség határértékek nem teljesülnek.**
- **Az általános megbízhatóság veszélybe kerül.**

(Ilyen esetekben azonnali és hatékony intézkedéseket kell foganatosítani annak érdekében, hogy a VER visszakerüljön az elviselhető működési feltételek közé.

Ezen intézkedések tartalmazhatnak kézi és/vagy automatikus beavatkozásokat – ellenőrzött fogyasztói terheléskorlátozás, erőművi generátor kikapcsolás –, amelyek megakadályozzák a rendszerösszeomlást és csökkentik az üzemzavar térbeli és időbeni kiterjedését, illetve áttérjedését más rendszer(részek)re.

Előfordulhatnak kaszkád jelenségek és a rendszer állapotának kedvezőtlen irányú megváltozásai – pl. FTK működés, rendszerrészek lekapcsolódása –, de ezek nem jelentenek rendszer-összeomlást. Azonban a szükséges intézkedések elmaradása, nem elegendő hatékonysága vagy nem időben történő foganatosítása eredményezhet rendszerösszeomlást.)

Rendszerösszeomlás_(blackout):

Az átviteli hálózat olyan állapota, amit a feszültség szinte teljes hiánya jellemez, ennek következtében a fogyasztói terhelés megszűnik, nagyerművi termelő egységek lekapcsolódnak és házi szigetüzemben működnek.

A rendszerösszeomlás lehet

- **részleges (amikor az együttműködő rendszer/ek/ egy részét érinti), de lehet**
- **teljes, az egész együttműködő rendszeregyesülésre kiterjedő.**

(A rendszerösszeomlás legtöbbször súlyos és kritikus üzemállapotok rendkívüli gyorsasággal történő kifejlődése (collapse).

Közvetlenül a rendszerösszeomlást megelőzően kialakuló üzemi helyzet, amikor a VER viselkedésének dinamizmusa túl gyors diszpécseri döntések, koordináció, vagy intézkedés meghozatalához. Ilyen esetben léphetnek működésbe rendszerautomatikák, amelyek készülék meghibásodásokat előzhetnek meg, illetve rendszerrészek integritásának megőrzését szolgálhatják a lehetséges legkedvezőbb rendszer-helyreállítás feltételeinek kialakításához.)

Az összeomlás folyamata megállhat

- egy közbenső és
- a végső fázisban.

Helyzetismeret fontossága:

- a nem ellátott (feszültség nélküli) hálózatrészek,
- a hálózati topológia,
- a kikapcsolódott rendszerközi és belső átviteli hálózati távvezetékek, valamint
- a házi szigetüzemmel, vagy a nélkül levált erőművi gépegységek pontos meghatározása igen fontos feladat ebben a fázisban.

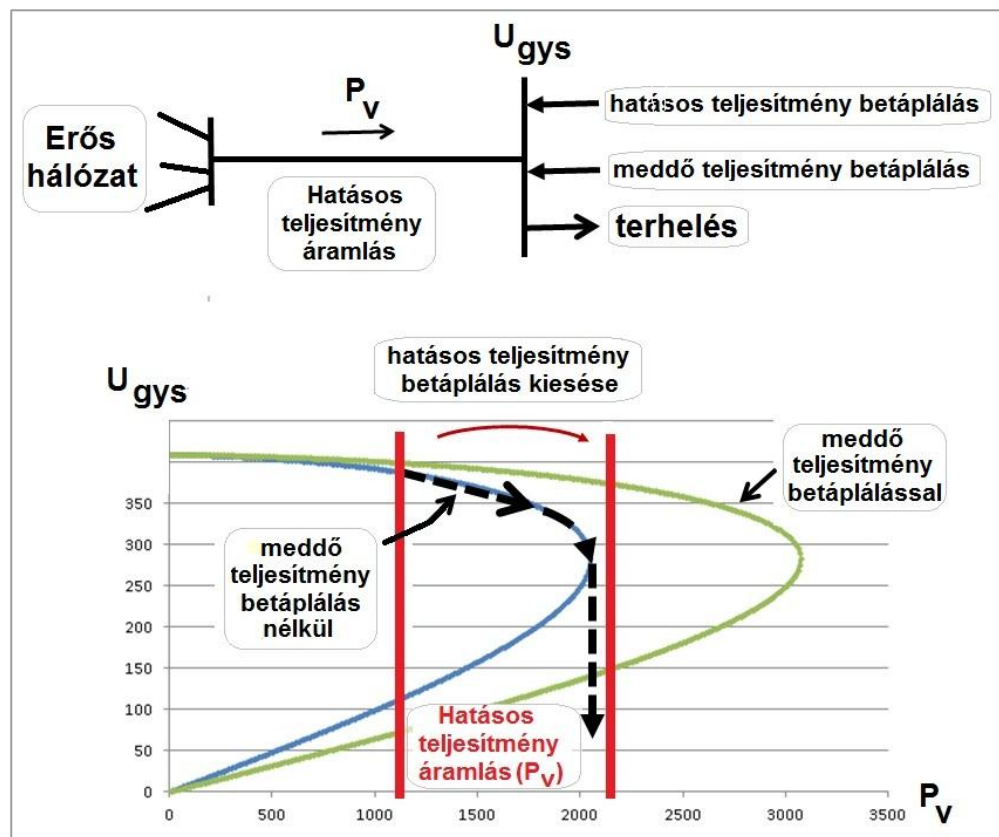
Rendszerhelyreállítás (restoration):

Az energiarendszer olyan állapota, amikor a feszültség alatti területen a frekvencia és a feszültség az előírt tartományon belül van, és a fogyasztók/erőművek csatlakoztatása

- a Rendszerirányító tervének megfelelően,
- irányítása alatt történik.

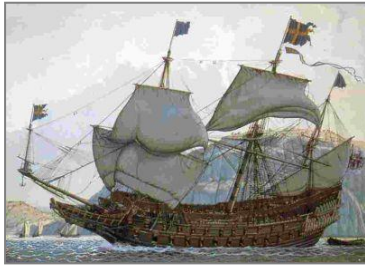
A VER üzemét befolyásoló (tranziens) jelenségek

- (1.) Túlterhelődések (feszültség összeomlás)
- (2.) Erőművi forráskiesések ($\Delta P_{ki} \rightarrow \Delta f, df/dt$)
- (3.) (Önmaguktól felgerjedő) rendszerközi lengések (inter-area oscillations, Power System Stabilizer - PSS csillapító hatása)

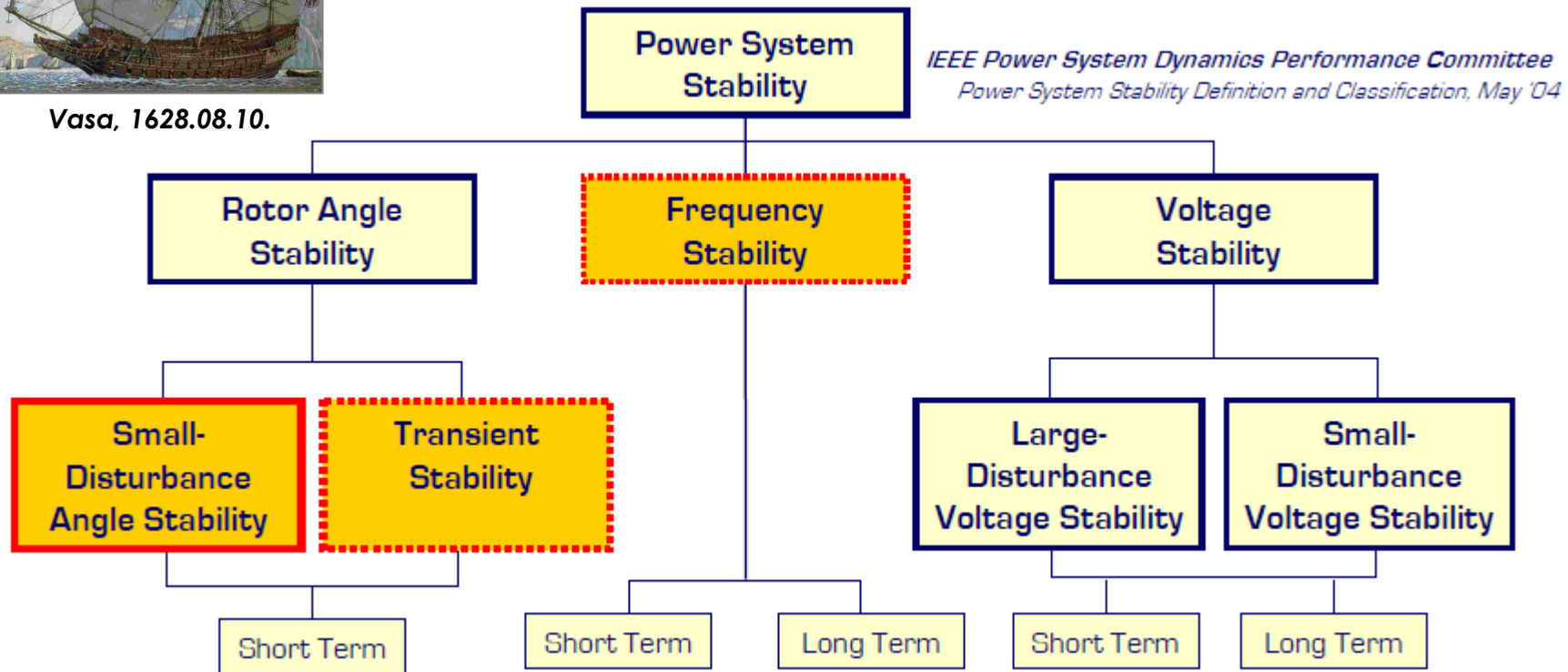


Ellenintézkedések a Védelmi Tervben (Defence Plan). Rendszeres rendszer vizsgálatokkal ellenőrizni kell a hatékonyságot!

(1.) Feszültség összeomlás
Ellenintézkedés: Feszültségfüggő terheléskorlátozás (UVLS).



Vasa, 1628.08.10.

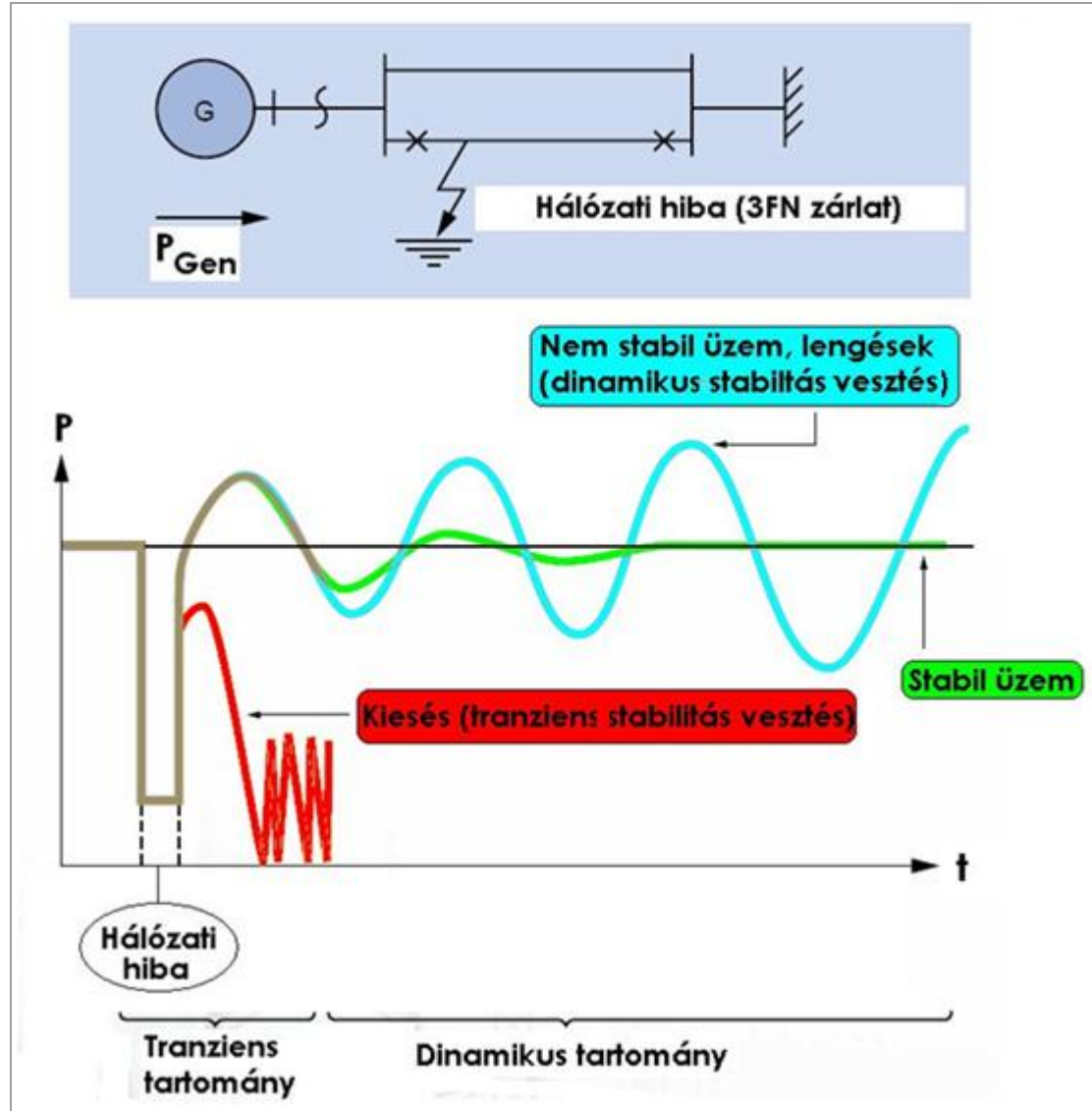


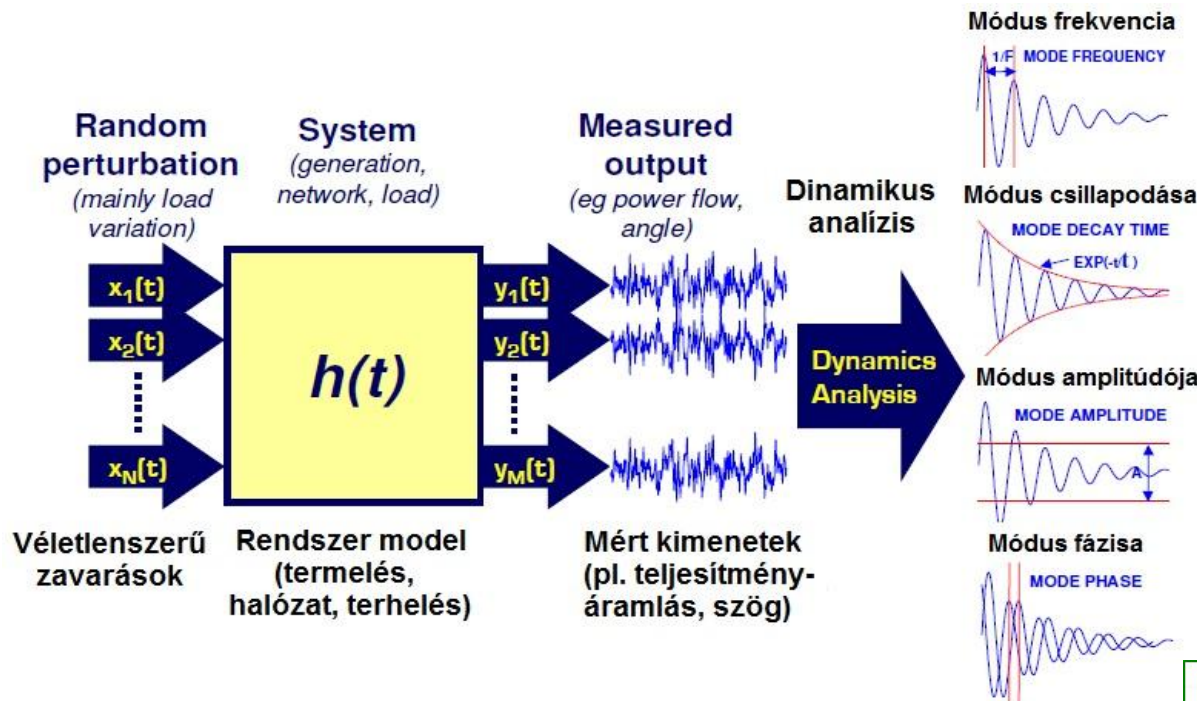
Stabilitási problémák kategorizálása

A VER – fizikai természetétől fogva – egy komplex, dinamikus, lengő rendszer.

A VER megbízható és biztonságos üzemének (system security) alapja:

Biztosítani, hogy **minden fellépő lengés stabil legyen.**



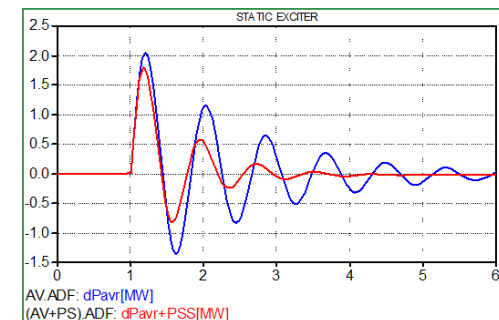
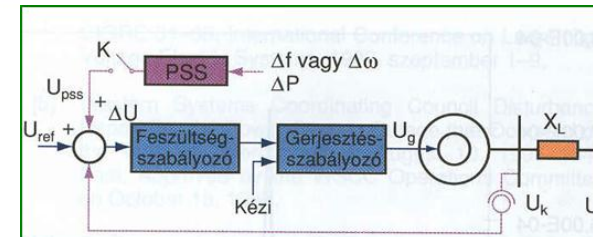


Modál analízis – rendszervizsgálat részeként

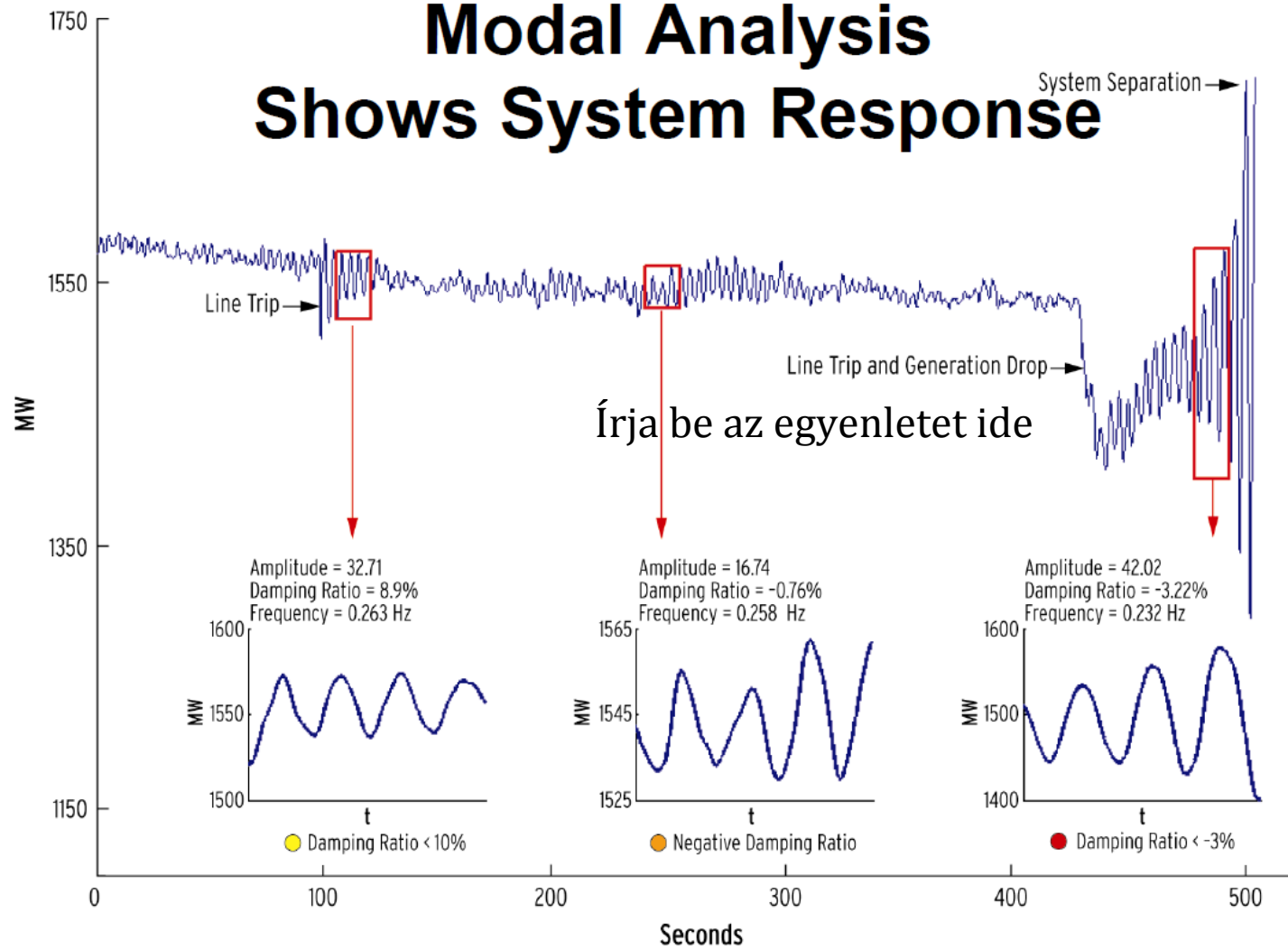
Lengések csillapításának eszközei:

- ☐ Generátorok gerjesztésszabályozó rendszerei (Power System Stabilizer – PSS)
- ☐ Static VAR kompenzátorok (FACT elemek)
- ☐ HVDC szabályozás (egyenáramú betétek)
- ☐ Lendkerekes tárolók

Igen fontos a koordinált paraméter beállítás és a csillapítási hatékonyság ellenőrzése (WAMS).

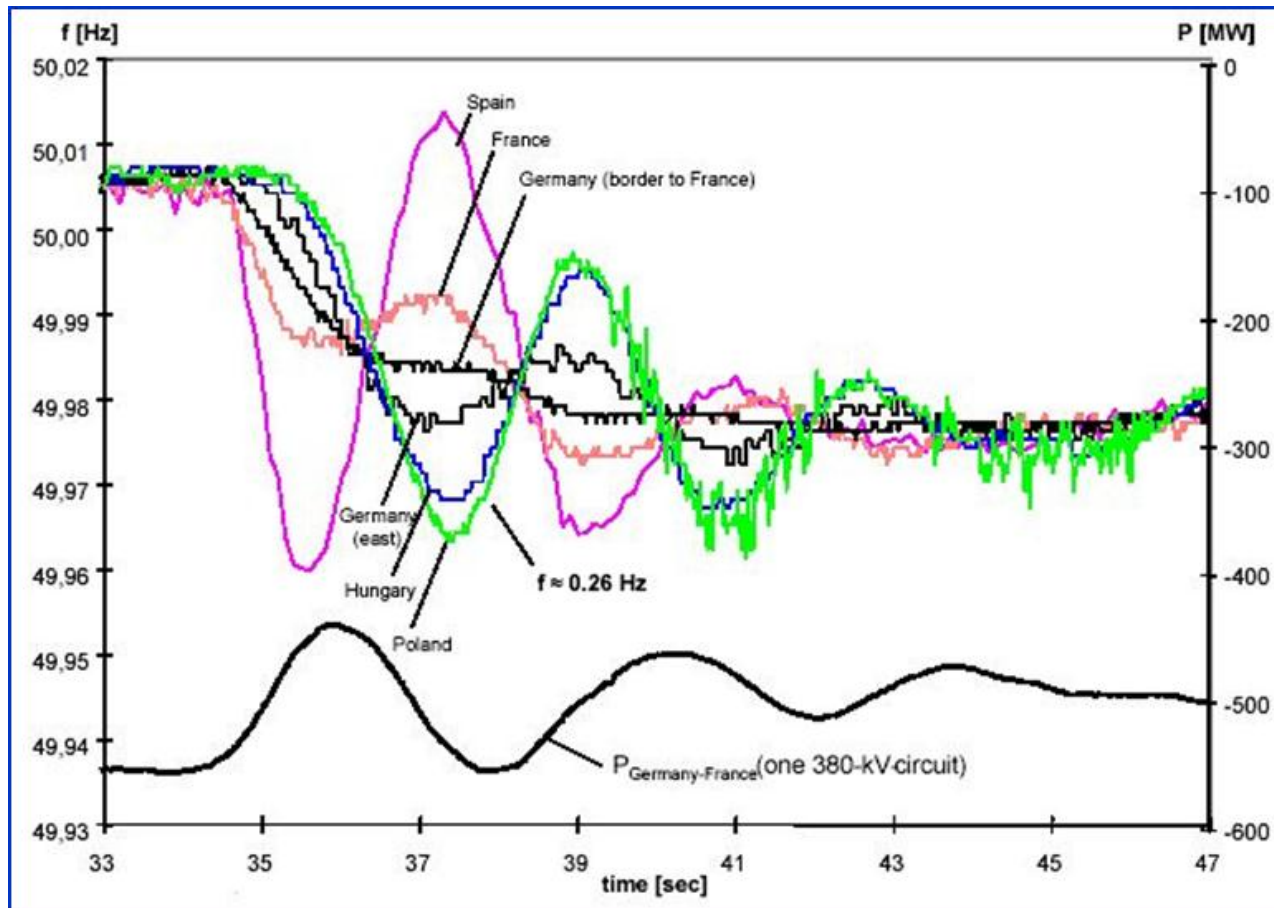


Modal Analysis Shows System Response

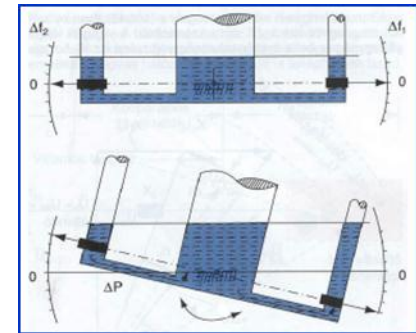


Valós-idejű modál analízis monitor – üzemzavar előjelzés

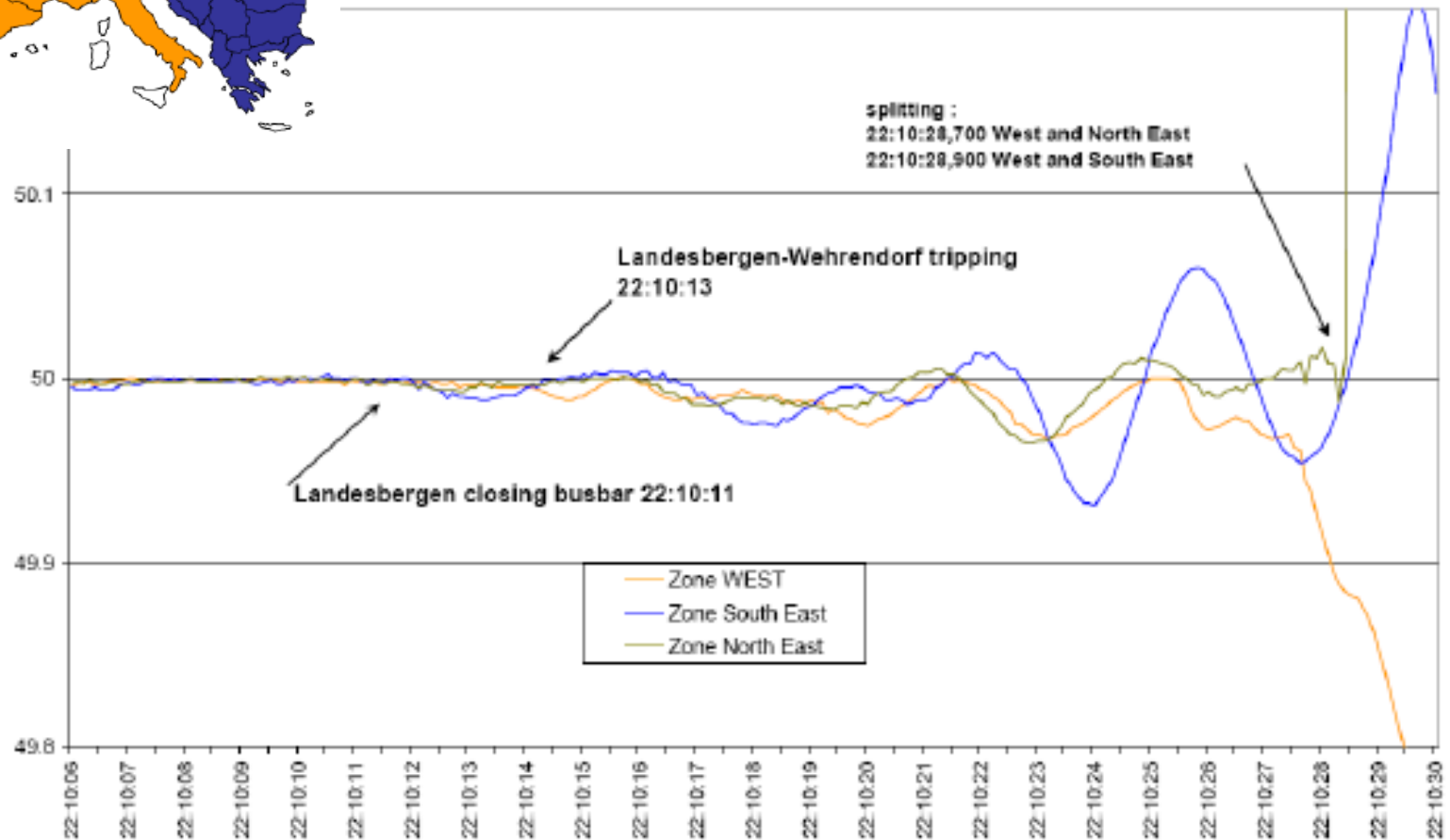
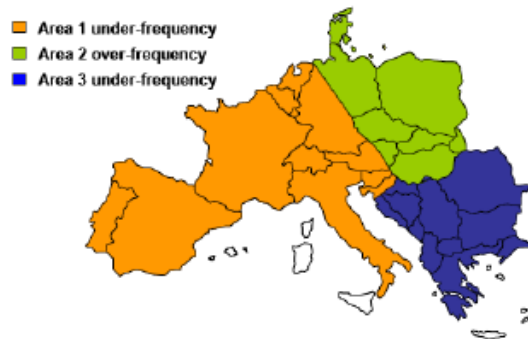
Rendszer-helyreállítás



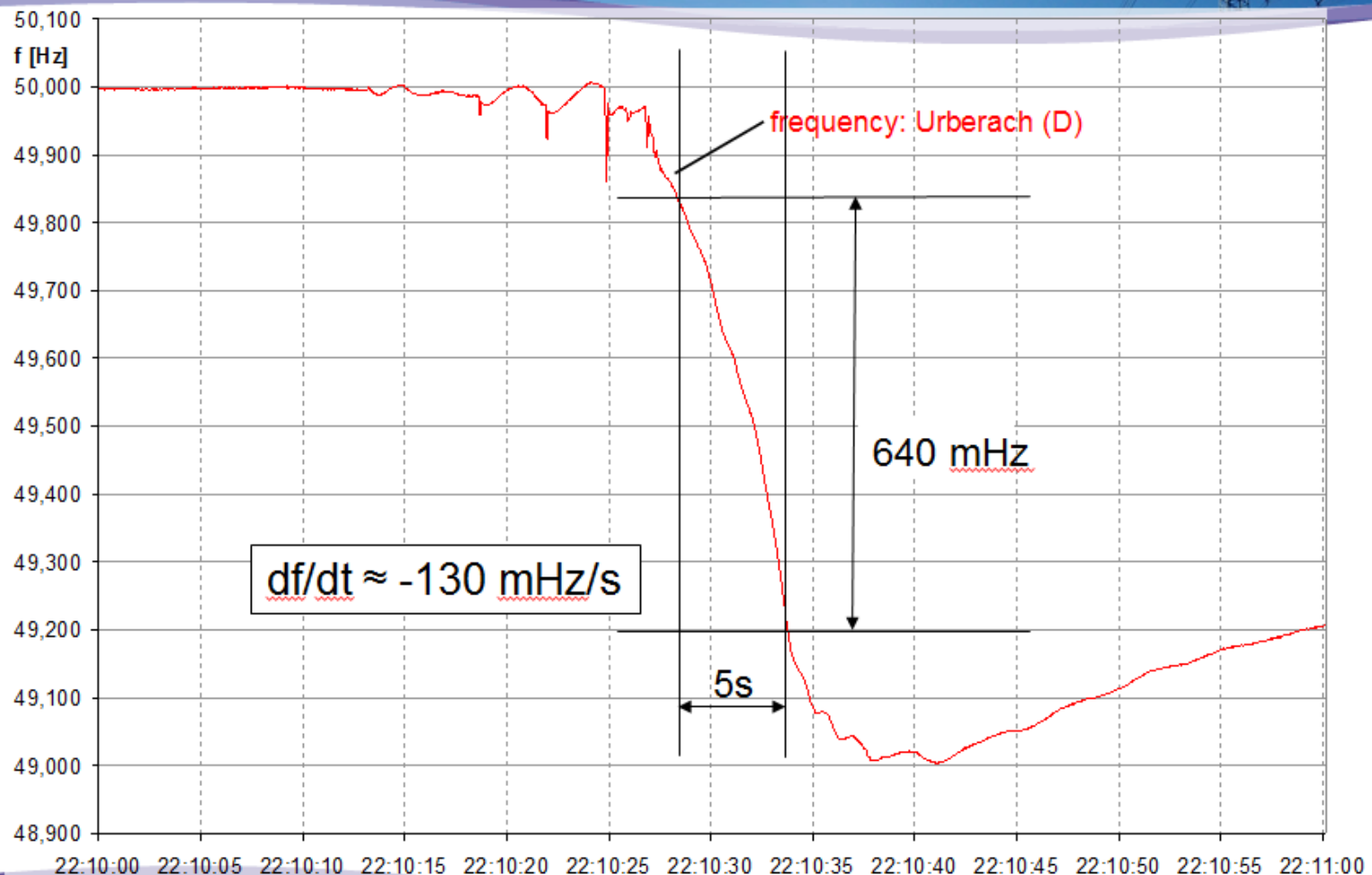
***Spanyol erőművi kiesés (900 MW) 1997. január 17-én,
csillapodó rendszerközi lengések (libikóka effektus)***



**(2.) Erőművi
forráskiesés →
frekvencia
meredekség
(df/dt , ROCOF):
NC RfG
(Generátorok
iránt támasztott
követelmények)
2,5 Hz/s-ig
üzemben kell
maradni
(CENELEC).**



UCTE – Disturbance on 4 November 2006





Wilster állomás esete a gyűjtőszínról (380 kV)

2007-05-29; 09:49

Inter-area-Oscillations after 380kV-busbar-failure Wilster

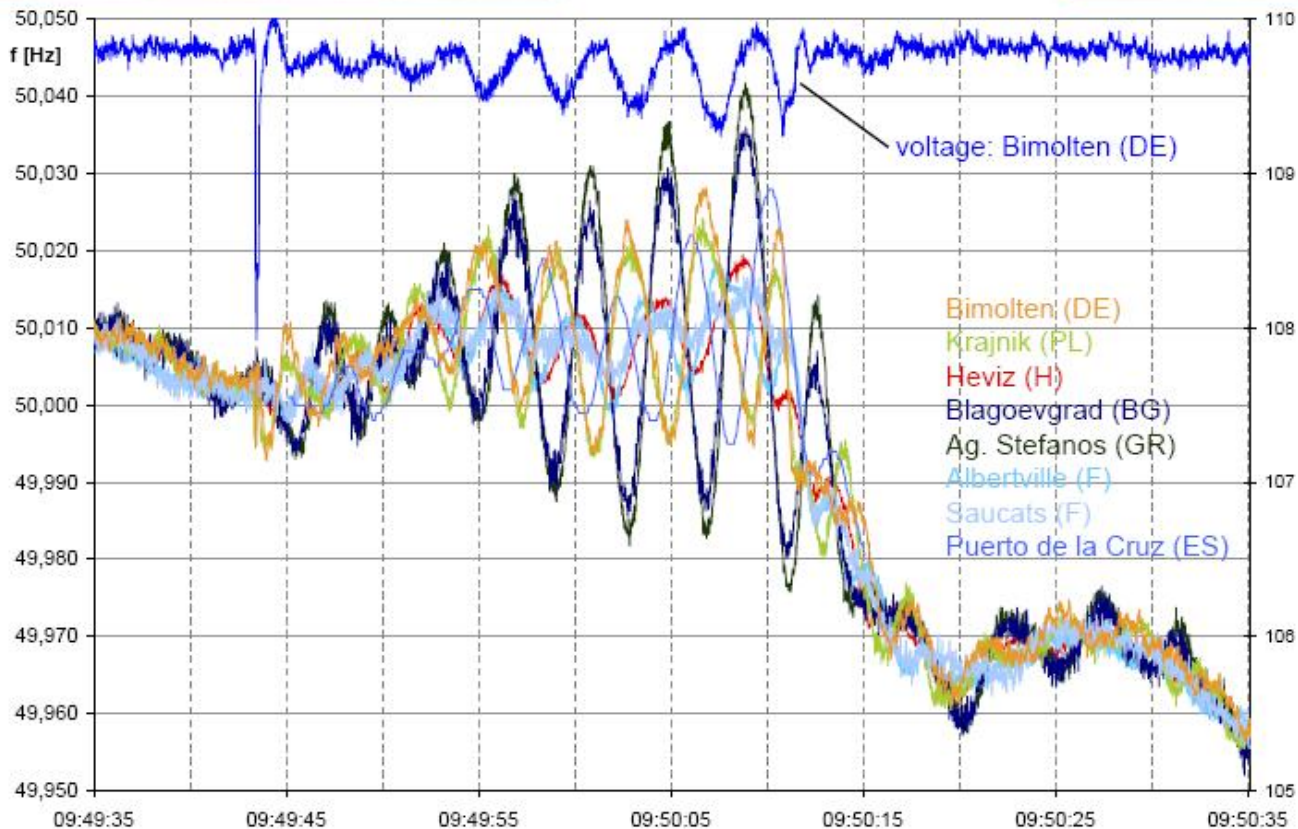
sequence of events:

1. double busbar failure in 380 kV substation Wilster at 09:49:43 h
2. disconnection of all 380 kV lines in substation Wilster
 - DK + area north of Hamburg connected by remaining two 220-kV-lines
3. +28 sec.:
 - tripping of remaining two 220-kV-lines
 - loss of power import ($\approx 1500\text{MW}$)
4. +59 sec.:
 - Baltic cable tripped by emergency protection control
5. + 5 min.:
 - resynchronisation via 380 kV lines

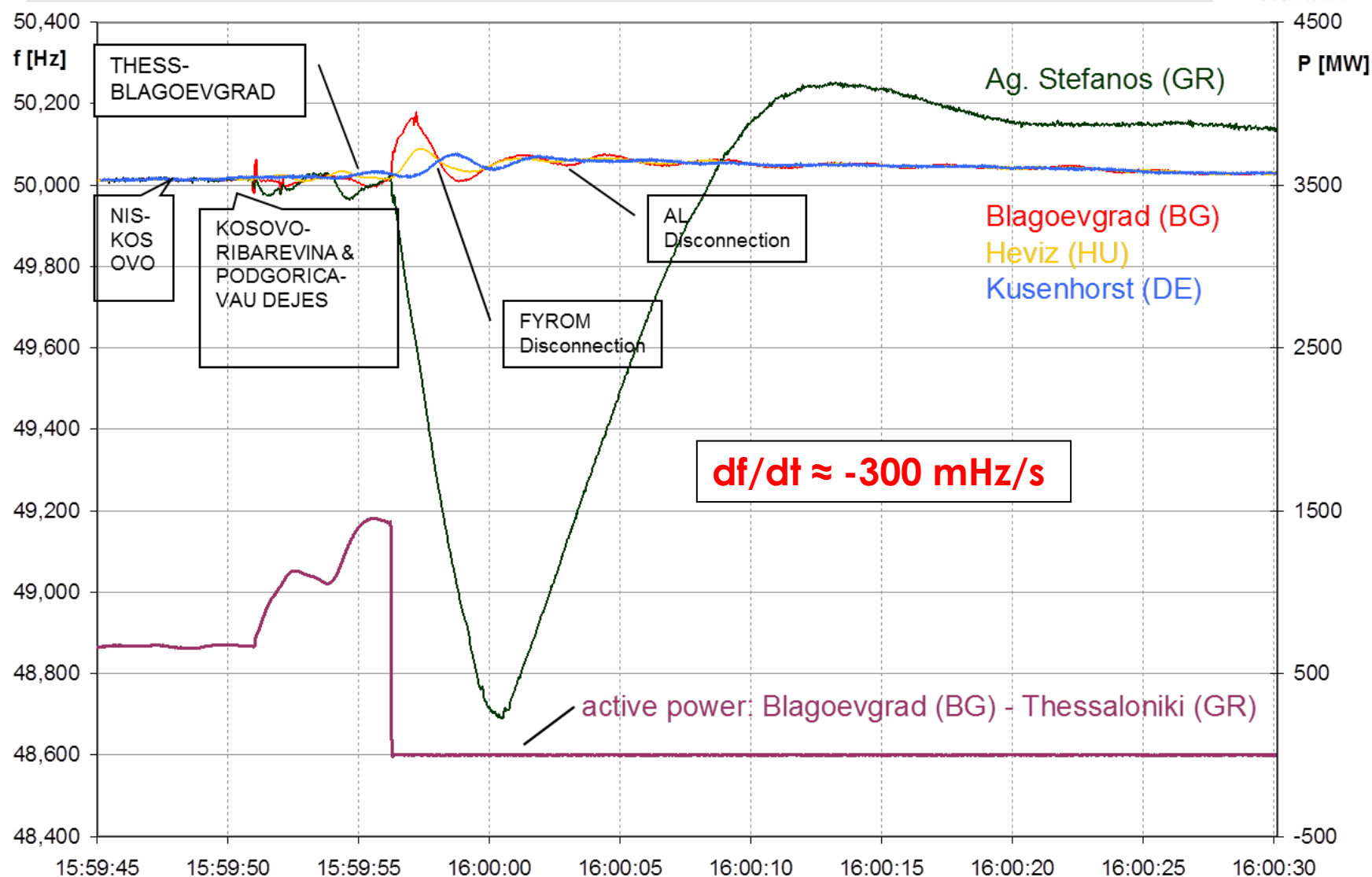


2007-05-29; 09:49

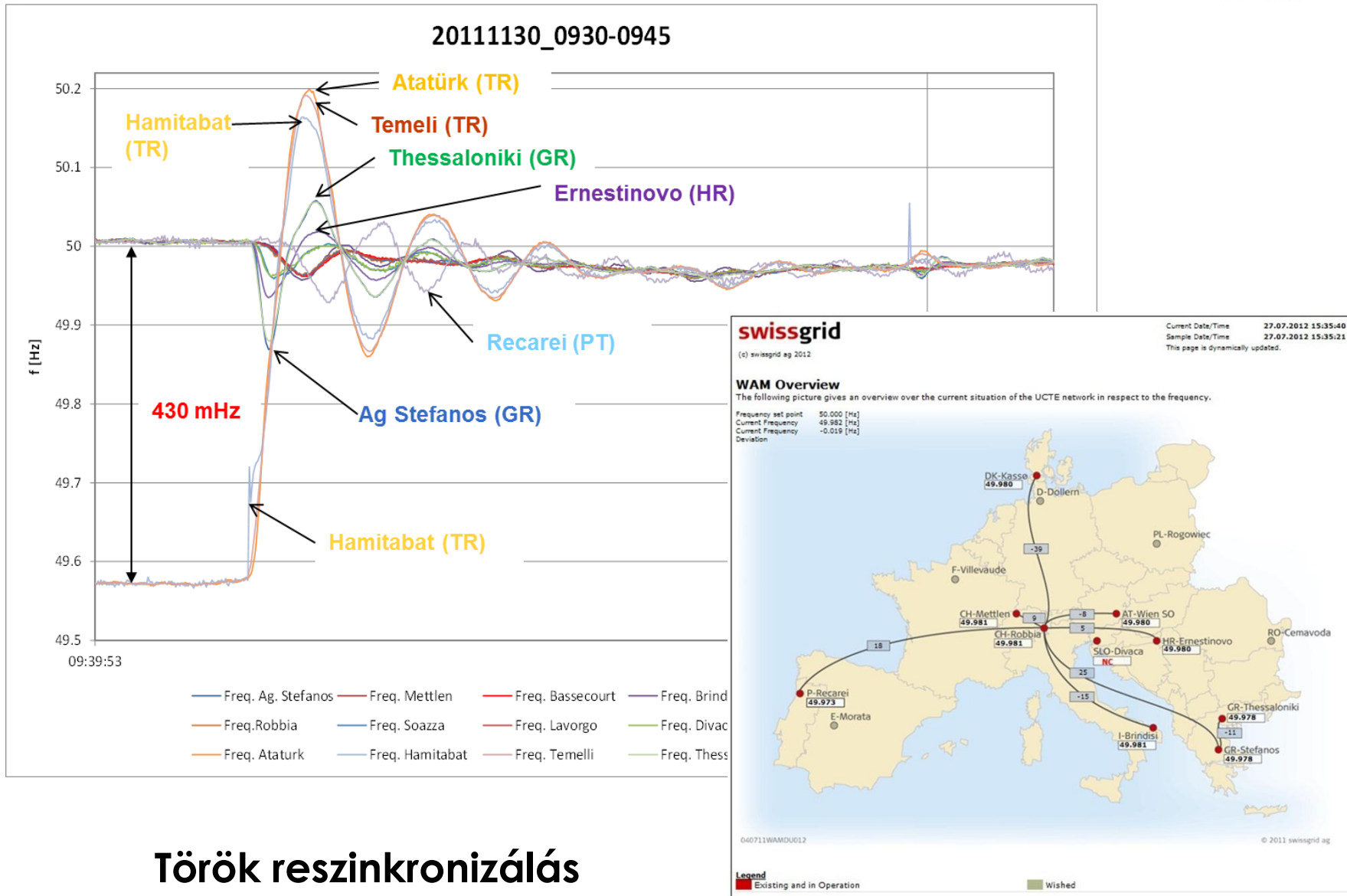
Inter-area-Oscillations after 380kV-busbar-failure Wilster



Rendszer-helyreállítás

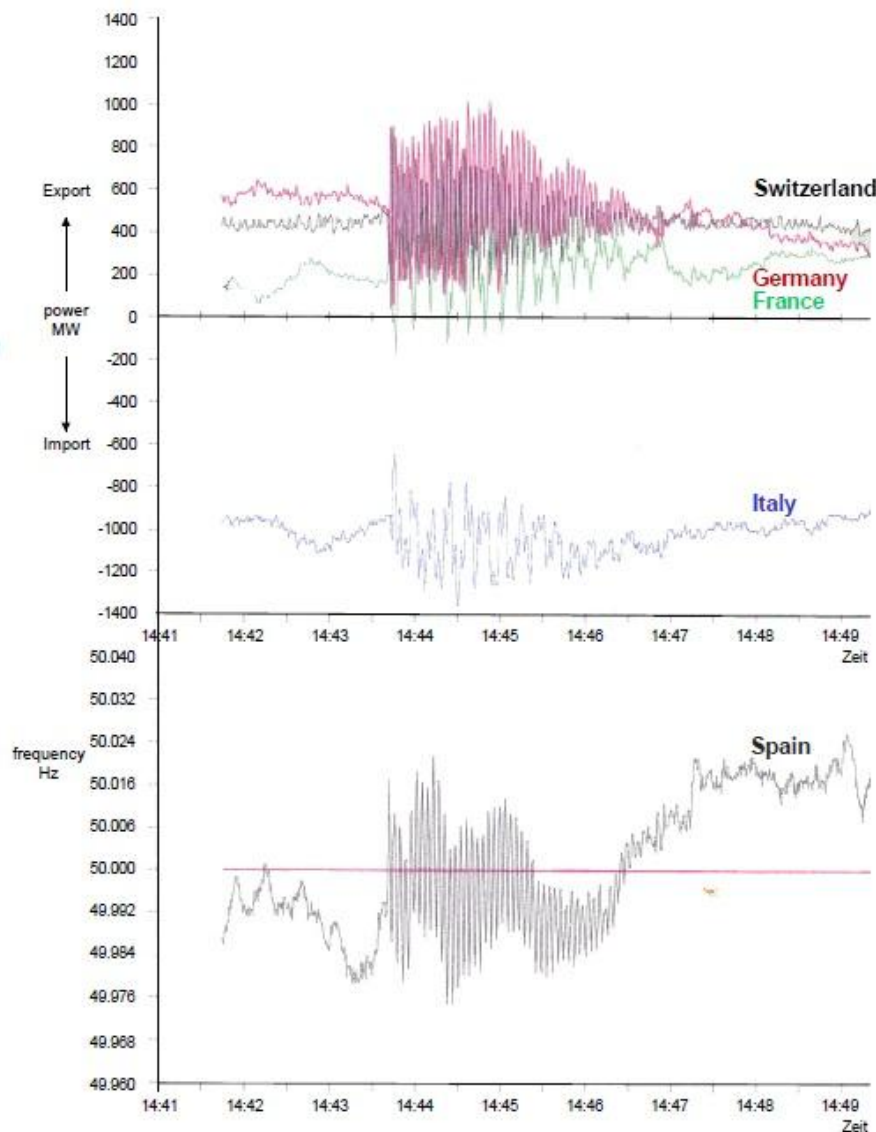


Koszovói leválás (2007.07.24.)

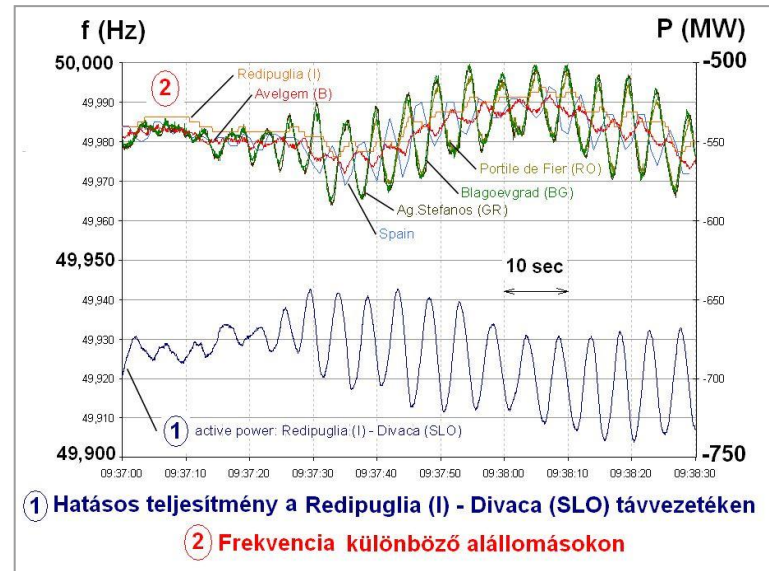
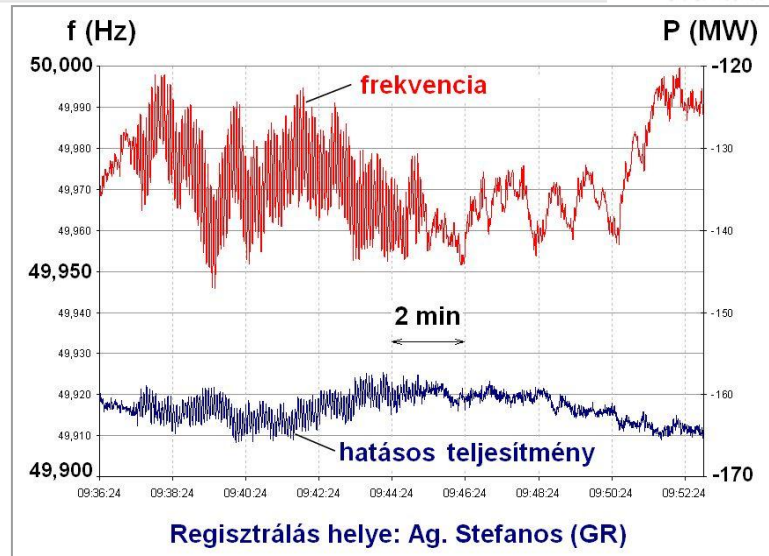


Török reszinkronizálás
(WAMS felvételek, swissgrid kiértékelés)

Rendszer-helyreállítás



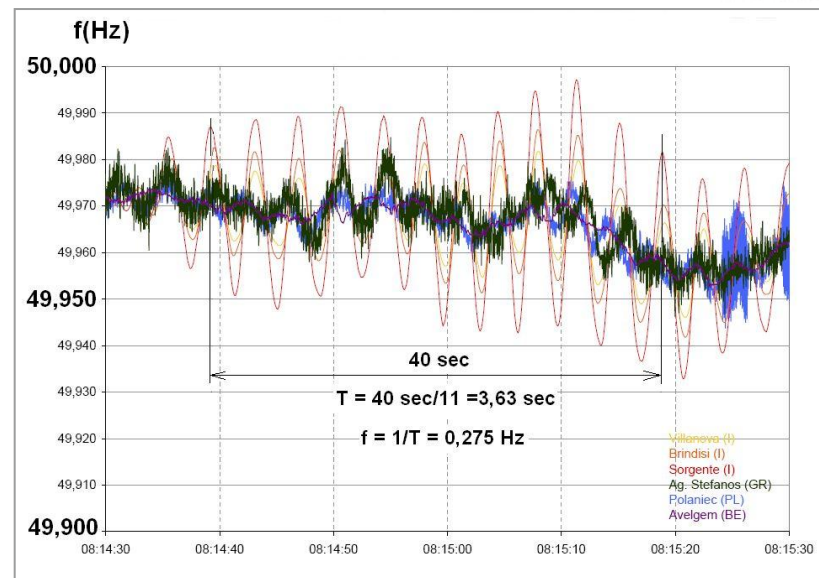
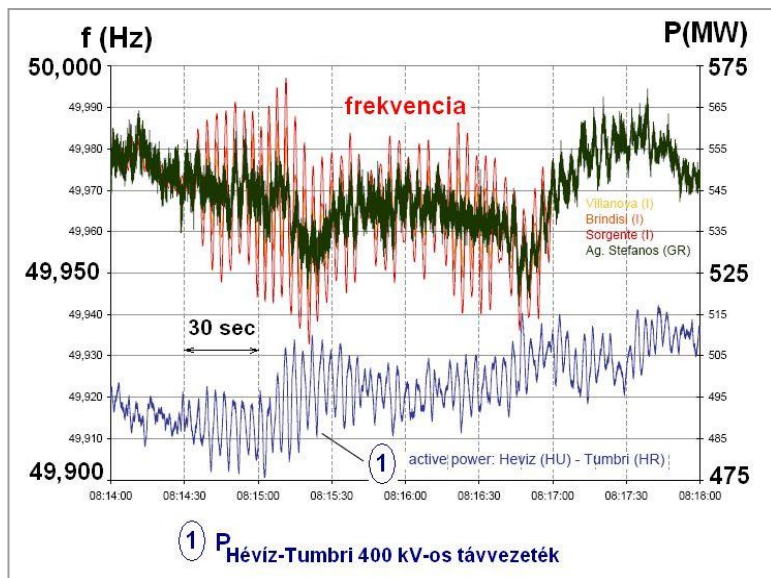
Rendszereközi lengések az UCTE rendszerben
(1981.12.30.)



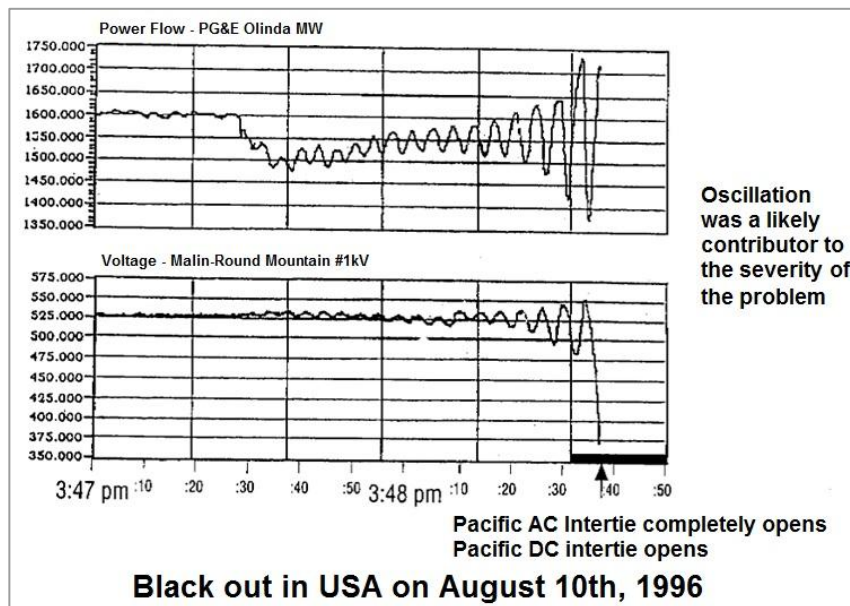
- ① Hatásos teljesítmény a Redipuglia (I) - Divaca (SLO) távvezetéken
② Frekvencia különböző állomásokon

Rendszereközi lengések az UCTE rendszerben
(2005.05.01.)

Rendszer-helyreállítás



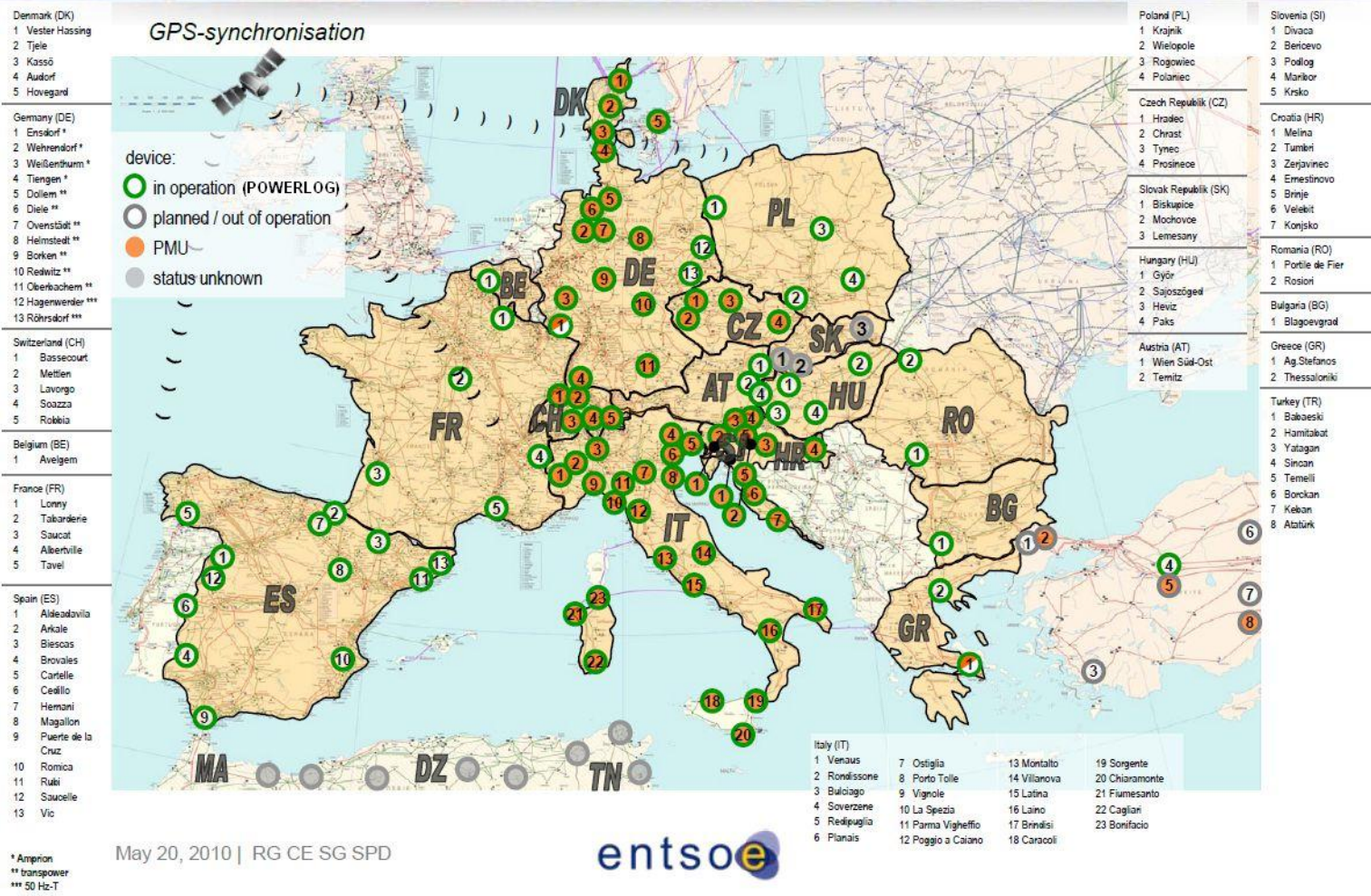
Rendszerközi lengések az ENTSO-E rendszerben (2007.04.01.)



**(3.) Rendszerközi lengések
→ stabilitásvesztés.**

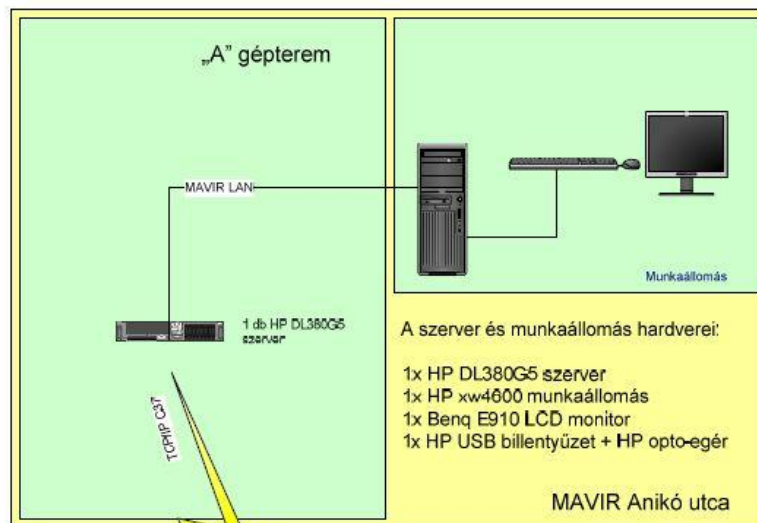


WAMS-devices within ENTSO-E RG CE + Turkey

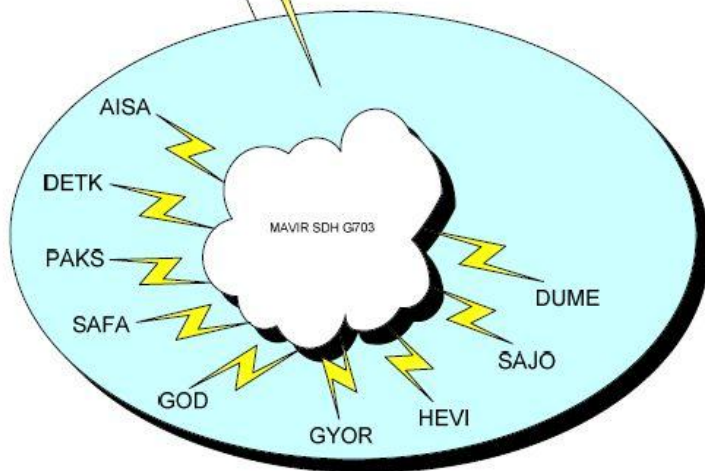


Wide-Area Monitoring System:
Lengésregisztrálás → VER dinamikus viselkedésének megismerése

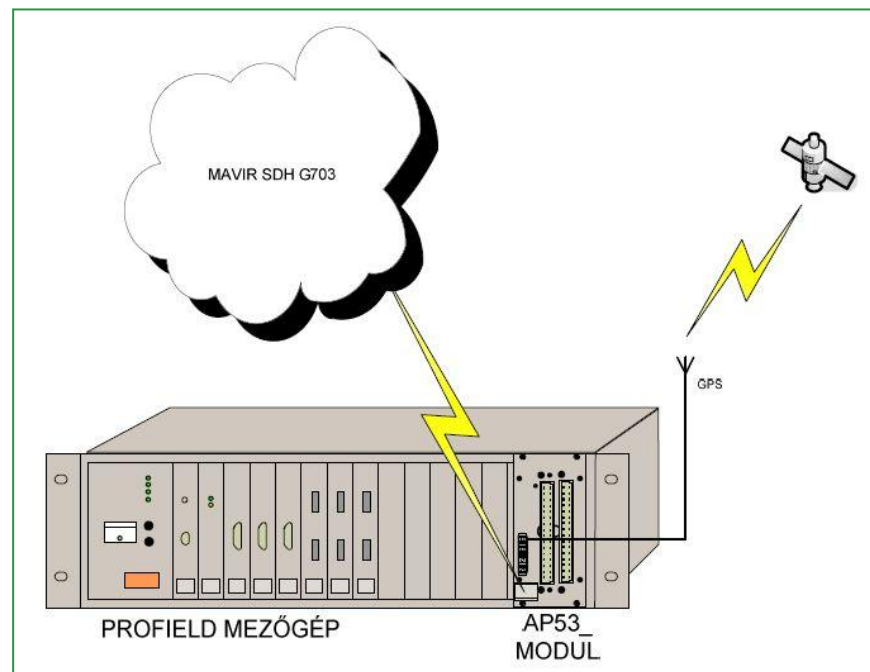
Rendszer-helyreállítás



AP modulok közvetlen hálózatos kapcsolattal



PDC adatszerver és központi kiértékelés, megjelenítés

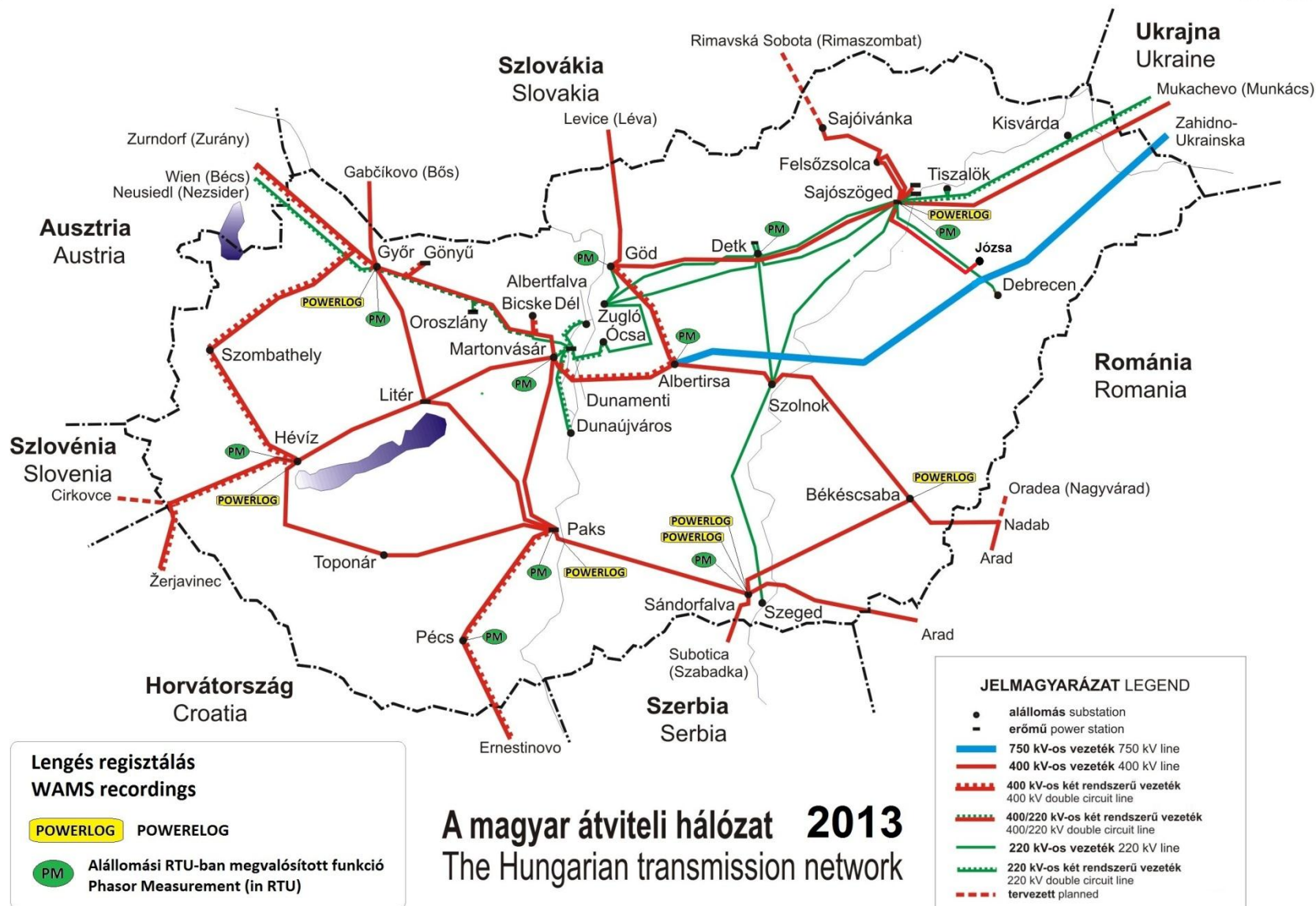


Alállomási megvalósítás: PMU-k helyett PROLAN PROFIELD mezőgépekben (RTU) elhelyezett speciális mérőkártyákkal.

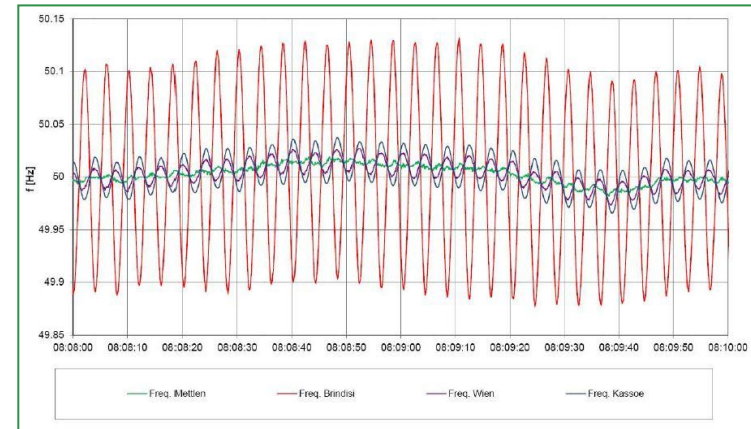
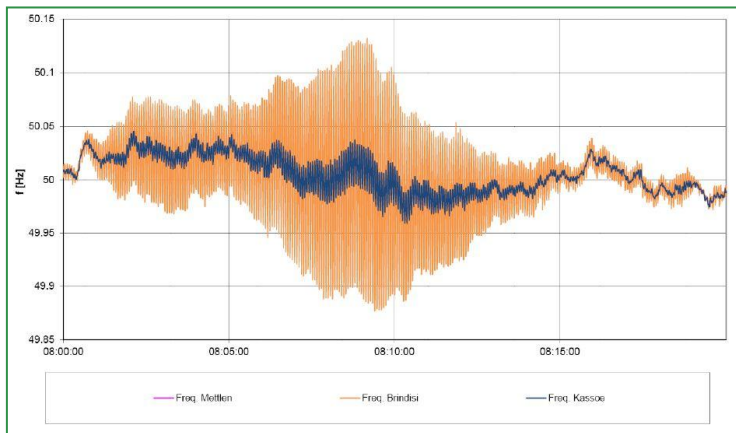


WAMS
MAVIR megvalósítás

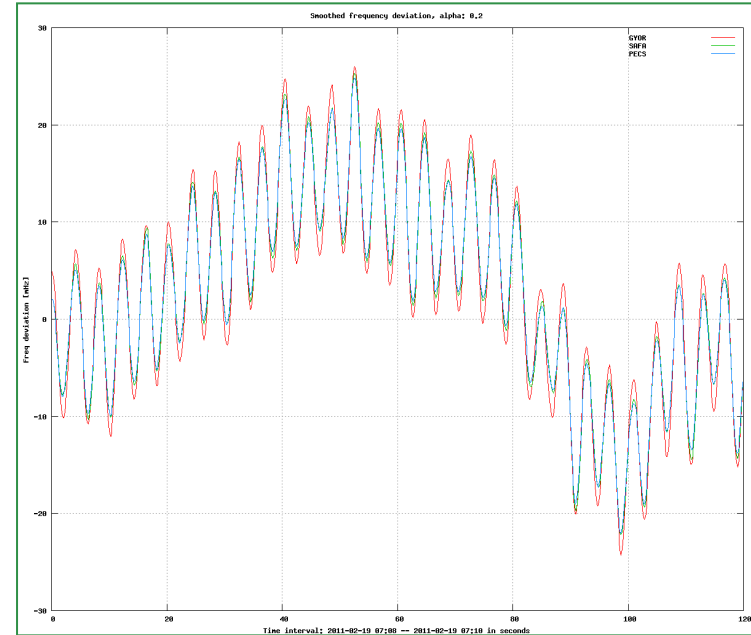
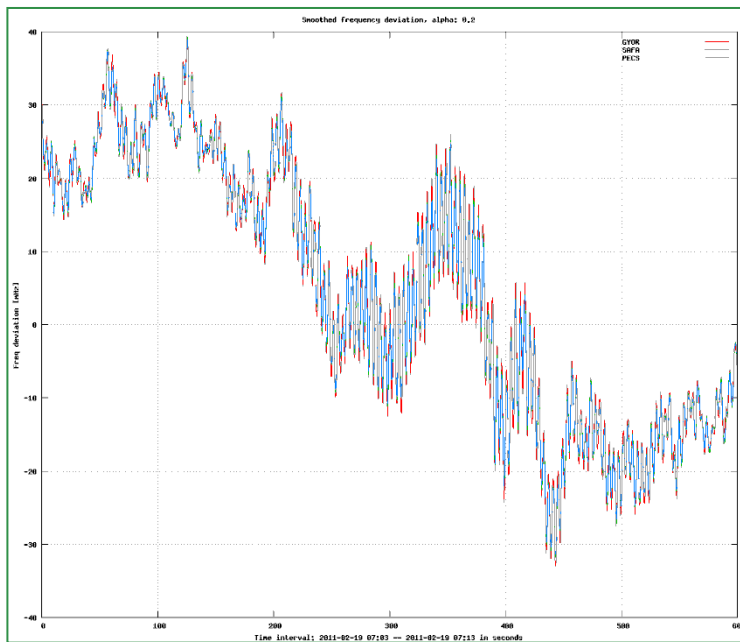
Rendszer-helyreállítás



Rendszer-helyreállítás



a) ENTSO-E CE felvételek



b) MAVIR felvételek



Önmagától felgerjedő rendszerközi lengések (2011. február 19-én, 8:00-8:20 között)

Rendszer-Helyreállítási Terv (RHT), rendszer-helyreállítás:

A Rendszer-Helyreállítási Terv tartalmazza mind azokat a rendszerirányítói tevékenységeket, amelyek megtétele szükséges a VER normál üzemének helyreállításához nagy rendszerüzemzavar(oka)t vagy rendszerösszeomlást követően.

Amint a VER a rendszerösszeomlás állapotába került, a Rendszer-Helyreállítási Tervet amilyen gyorsan csak lehet, el kell kezdeni megvalósítani. Hasonlóképpen a rendszer-helyreállítás folyamatának tekinthető egy nagy üzemzavart követően a normál üzemállapotba való visszatérés is.

Egy rendszer-összeomlási folyamat során a nagyerművi gépegységek automatikusan leválnak a hálózatról és házi-szigetüzemben működnek tovább. A gépegységek háziüzemi fogyasztással (5 - 8 %) történő szigetüzemének fenntartása általában időben korlátozott (hagyományos hőerőművi blokkok esetén 20-40 perc).

A rendszer-helyreállítás során a következő tevékenységek párhuzamos elvégzése szükséges:

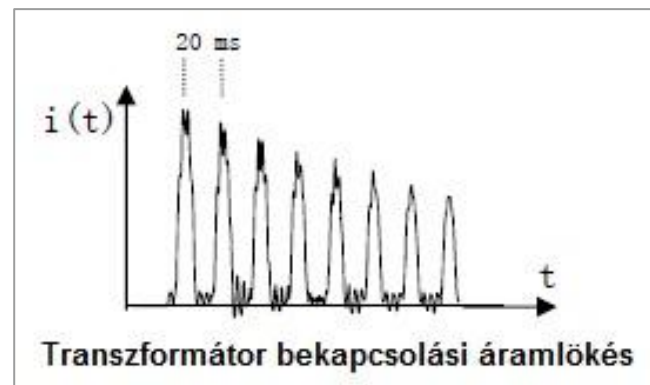
- külső feszültség nélküli indulási („black-start”) képességgel rendelkező blokkok indítása,
- átviteli hálózati „gerinc” kialakítása a szomszédos rendszerekkel való kapcsolat újrafelvételéhez,
- hálózati útvonalak előkészítése és felépítése az erőművi blokkok újra indításához,
- házi szigetüzemmel működő erőművi blokkok újra szinkronizálása,
- leválasztott és az újra felépítés során kialakított rendszerrészek reszinkronizálása,
- fogyasztói terhelések fokozatos visszakapcsolása.



31

A rendszer-helyreállítás során figyelembe veendő tranziens folyamatok

- (1.) A „black-start” képes gépegységeknek képesnek kell lenniük a frekvencia szabályozására → 10%-os terhelésnövelés esetén 49-50 Hz sávban kell maradni.
- (2.) Automatikus feszültségszabályozóknak (AVR) képesnek kell lennie a feszültségingadozások kiszabályozására (alulgerjesztéses üzemállapot fontossága).
- (3.) Ferranti hatás: a hálózaton kompenzációs lehetőségek kellenek (fojtótekercsek).
- (4.) Távvezetékek, transzformátorok bekapcsolása (bekapcsolási áramlökés, rezonanciás túlfeszültségek → bekapcsolás elemenként, vagy kis rész-hálózatonként?).
- (5.) Reszinkronizáció: rendszerek közötti szinkronizálás (ASZK/PSD) → közeli generátorok viselkedése (Δf , ΔU , Δa).
- (6.) Előzetes ellenőrző szimulációs vizsgálatok (EMTP) fontossága.



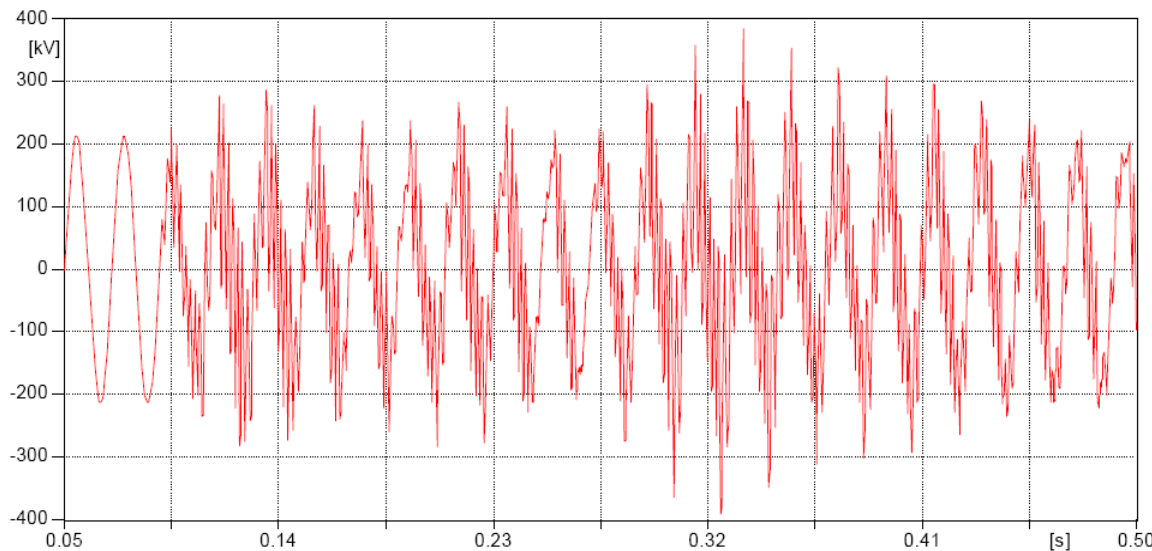
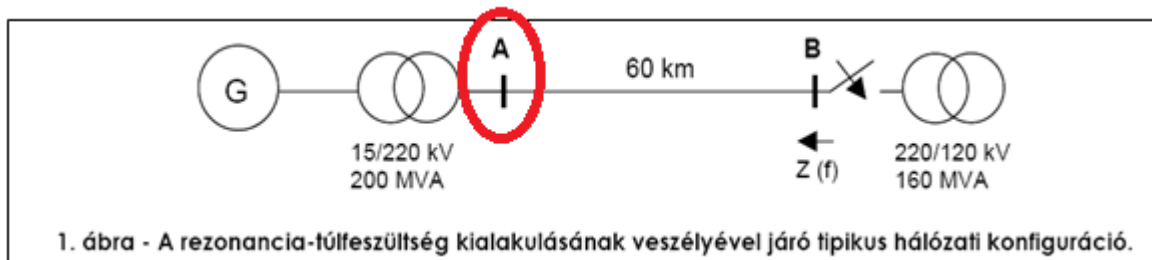
A rendszer-helyreállítás során kialakuló tranziensek (*)

Az elmúlt években számos országban a gyakorlatban is alkalmazni kellett a kidolgozott rendszer-helyreállítási scenáriókat. Ezek végrehajtása során a rendszer-helyreállítás kezdeti szakaszán a már feszültség alatt álló hálózatrészekeken rövid időtartamú oszcilláló jellegű feszültségnövekedéseket (*temporary overvoltage*), illetve rezonancia-túlfeszültségeket tapasztaltak. A jelenségre magyarázatul szolgál az a tény, hogy a helyreállítás kezdetén a rendszer még kis terhelésű és a rezonanciafrekvenciák jelentősen eltérnek a normál üzemállapot mellett érvényes állapotjellemzőktől.

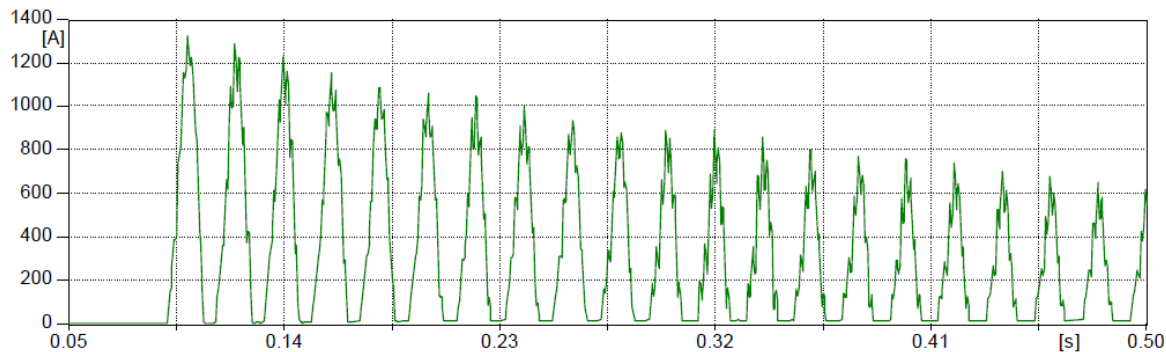
Különösen veszélyes rezonancia túlfeszültségek alakulhatnak ki, ha a rendszer valamelyik sajátfrekvenciája a névleges hálózati frekvencia egész számú többszörösének közelébe kerül és a hálózatot periódikus gerjesztés éri. Ilyen periódikus gerjesztés lehet például üresen járó vagy kis terhelésű transzformátor bekapcsolásakor fellépő áramlökés, amely - erősen csökkenő amplitúdóval -, a hálózati frekvencia egész számú többszöröseinek megfelelő karakterisztikus harmonikusokat tartalmaz.

(*) Forrás:

- (1) Prikler László: Erőművi blokkok indítása külső energiaforrás felhasználásával. „Black start” folyamatok modellezése, INNOTECH Kft., 2005.08.20.
- (2) Prikler László: A Paksi Atomerőmű 3. számú reaktorblokkja háziüzemének ellátása a Dunamenti Erőmű G2 jelű gázturbinájáról – mérési eredmények, SYSTRAN Mérnöki Szolgáltató Bt., 2005.09.15



2. ábra - Rezonancia túlfeszültség a vezeték A végpontján.



3. ábra - A vezeték B végpontjához csatlakoztatott transzformátor bekapcsolási áramlökése

A vizsgálatok során figyelembe vett körülmények:

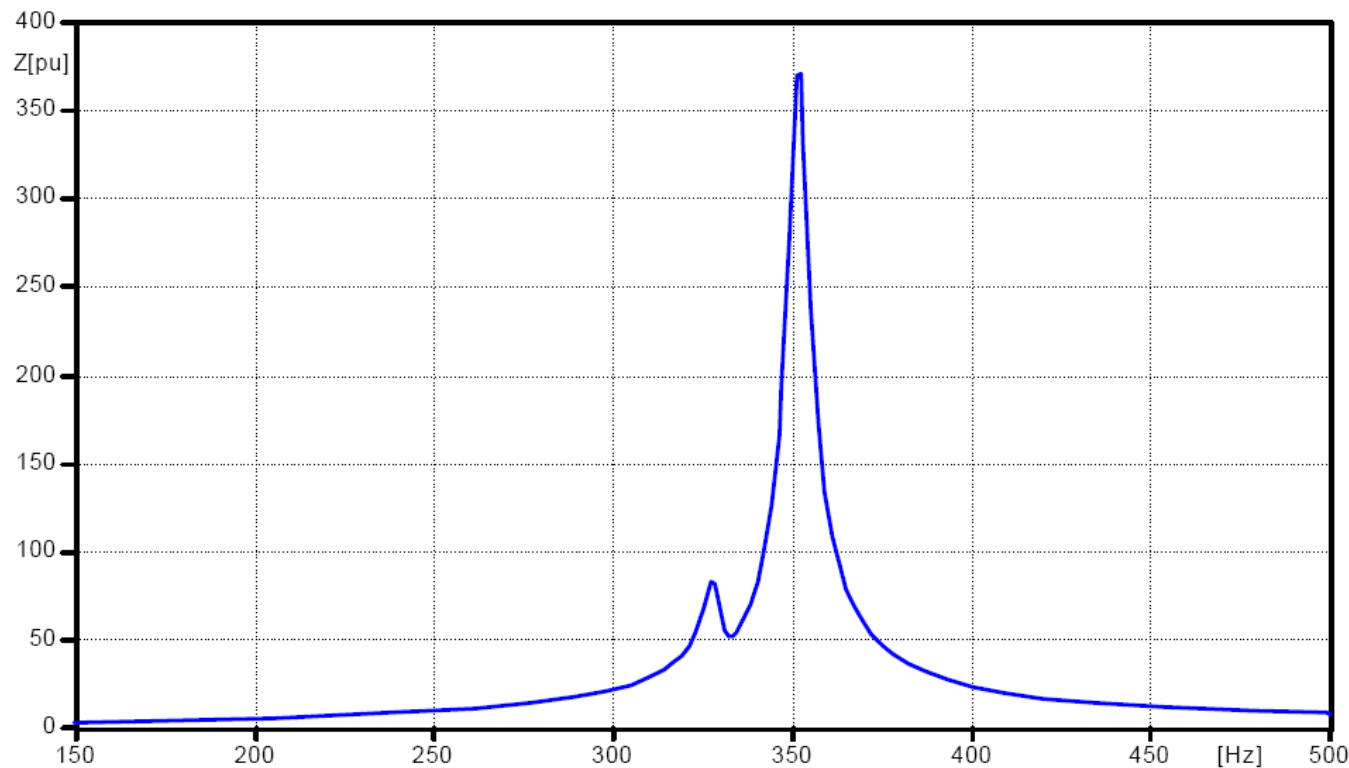
- ☐ **Megszakító működtetés**
→ **legkedvezőtlenebb fázishelyzet** (nem szinkronizált bekapcsolás);
- ☐ **Transzformátorok** → **kedvezőtlen előjelű vasmag remanencia.**

Vizsgálati célok:

- ☐ **Kapcsolások optimális sorrendje;**
- ☐ **Szabályozós transzformátorok fokozatkapcsolójának legkedvezőbb beállítása;**
- ☐ **Tranziens túlfeszültségek:**
 - **nagysága,**
 - **Frekvenciája,**
 - **Időtartama.**

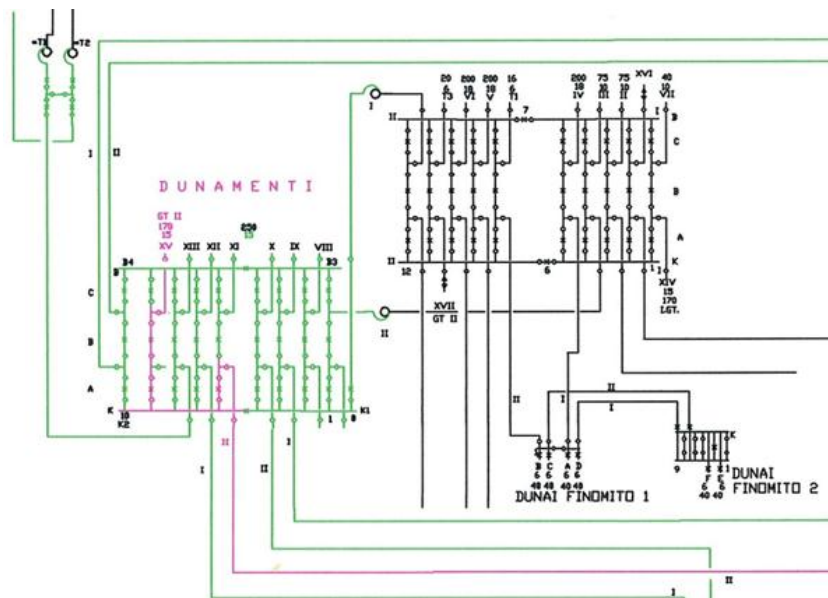


A nagy amplitúdójú oszcilláló feszültség kialakulására magyarázatot ad a "B" pont $Z(f)$ mérési ponti impedanciájának 350 Hz közelében tapasztalható megnövekedése (4. ábra). Annak ellenére, hogy a bekapcsolási áramlökésben a 350 Hz-es 7. felharmonikus amplitúdója 1%-nál is kisebb, a párhuzamos rezonancia miatt nagy amplitúdójú, periódikus feszültség-igénybevétel alakul ki a vezeték teljes hossza mentén, amely a kapcsolódó hálózati berendezések közül elsősorban a fémoxid túlfeszültség-korlátozók termikus túlterhelődésének veszélyével járhat.

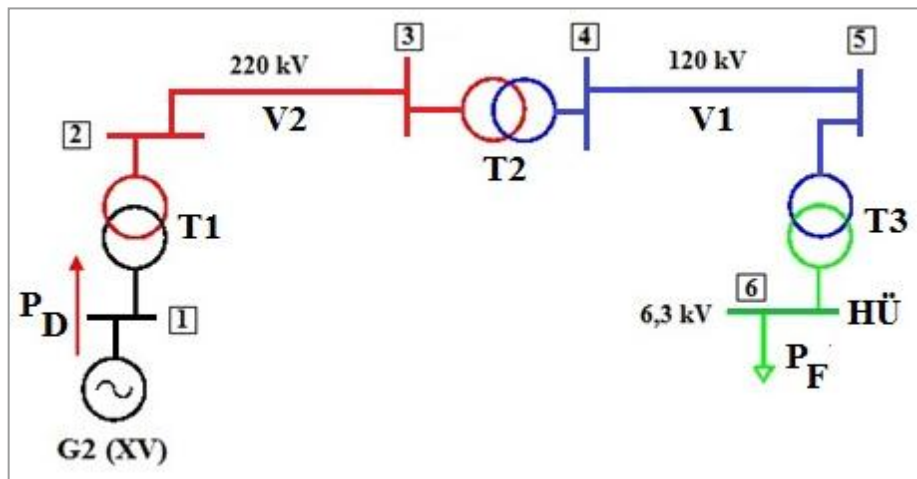


4. ábra - A hálózat B ponti mérési ponti impedanciájának frekvenciafüggése.

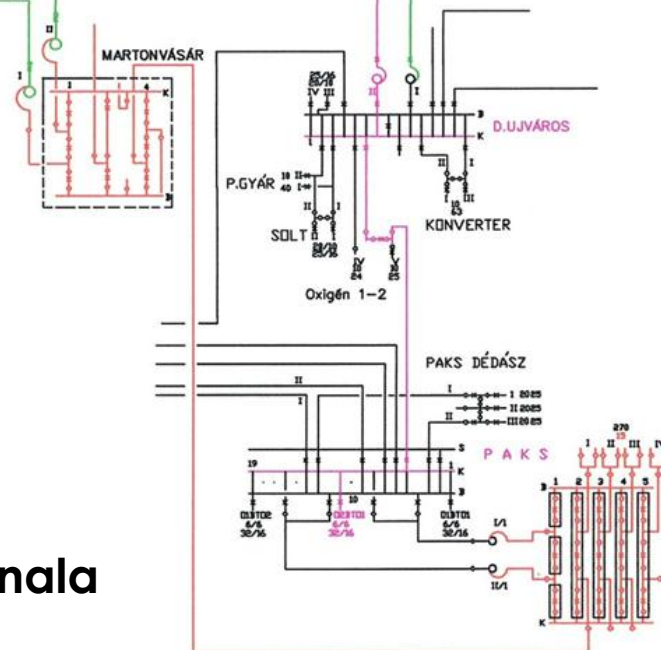




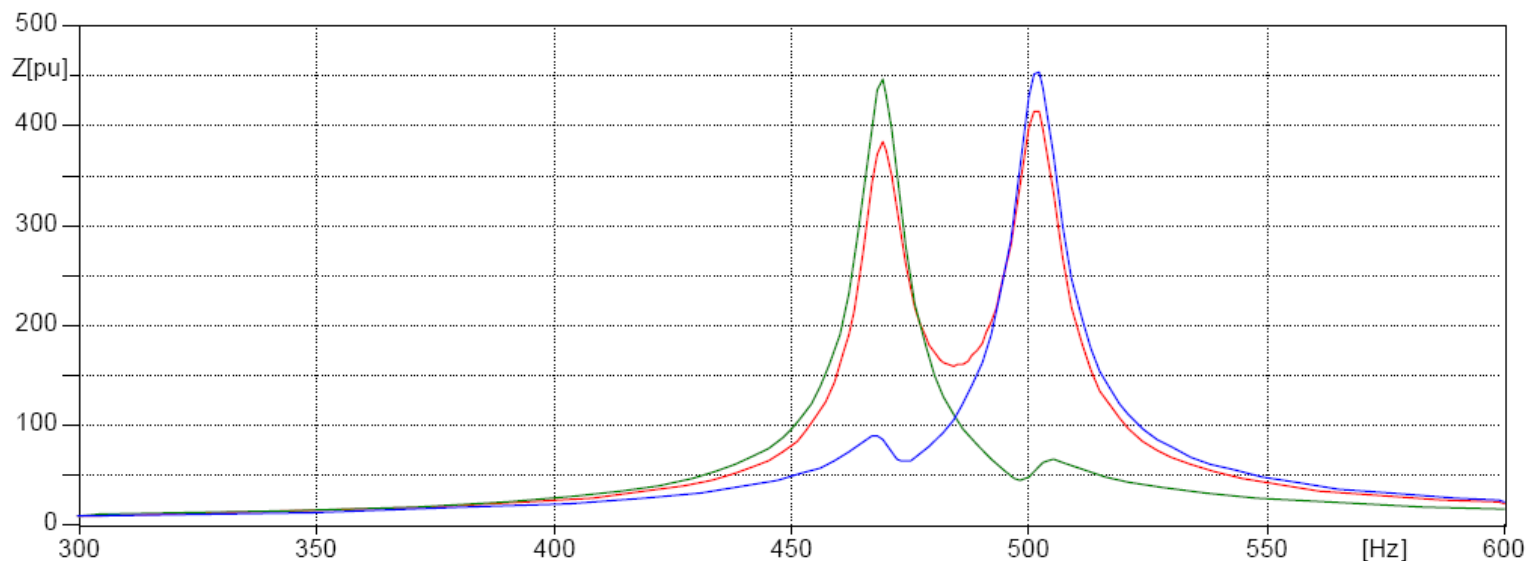
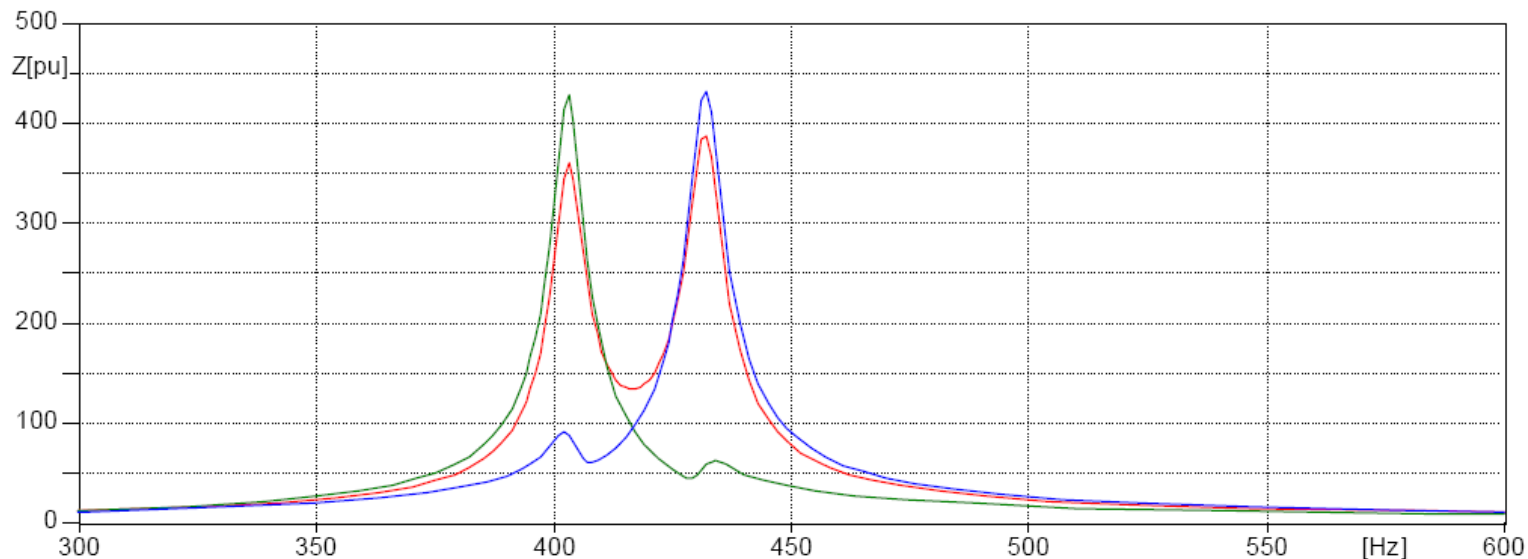
Előzetesen EMTP
(Electromagnetic Transient
Program) **szimuláció,**
majd a mérési
eredmények
kiértékelése történt.



Dunamenti → Paks próba hálózati útvonala
(2005.09.11.)

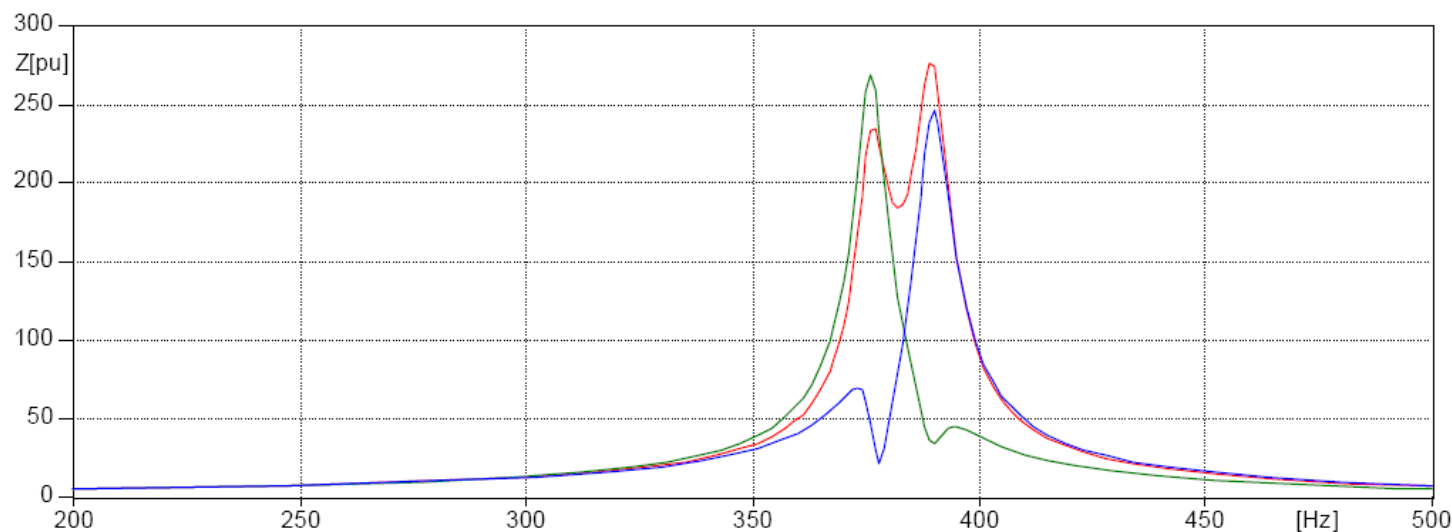
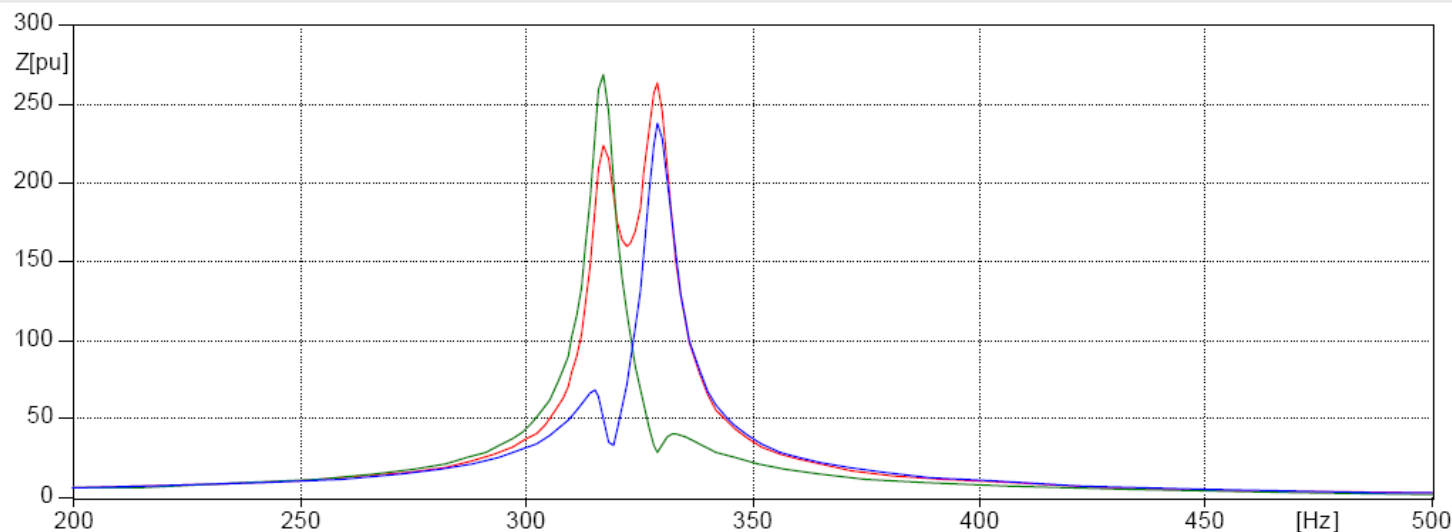


Rendszer-helyreállítás



(file dume_paks_blackstart_frq_v2.pl4; x-var t) v:DUJV2A v:DUJV2B v:DUJV2C

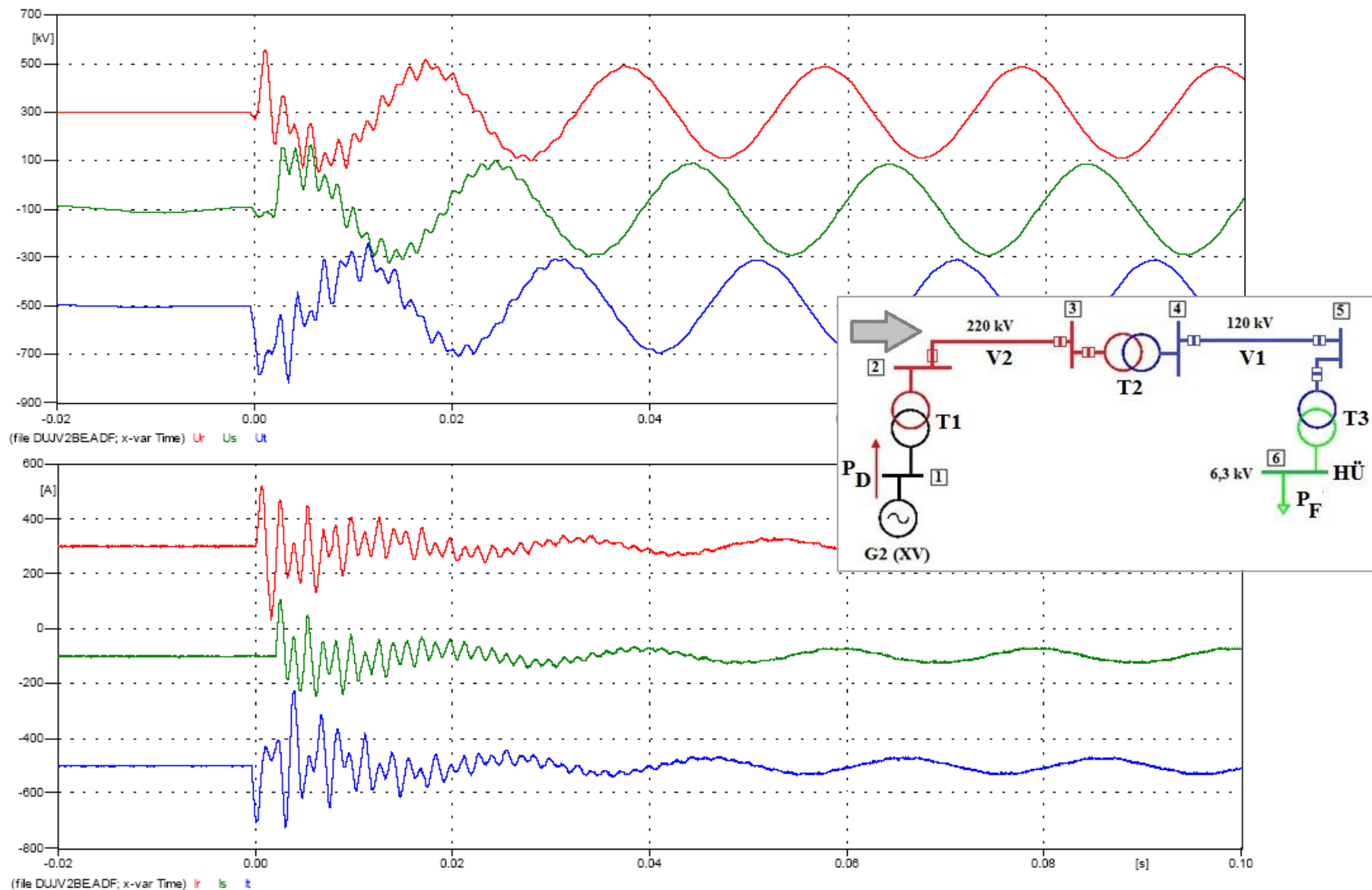
5. ábra - Mérésponthi impedancia a frekvencia függvényében a dunaujvárosi 220/126 kV-os transzformátor 220 kV-os kapcsán. Felső görbék: a három fázis $Z(f)$ jelleggörbéje a blokktranszformátor szabályozójának középállásában. Alsó görbék: $Z(f)$ jelleggörbék a blokktranszformátor szabályozójának -15%-os állásában.



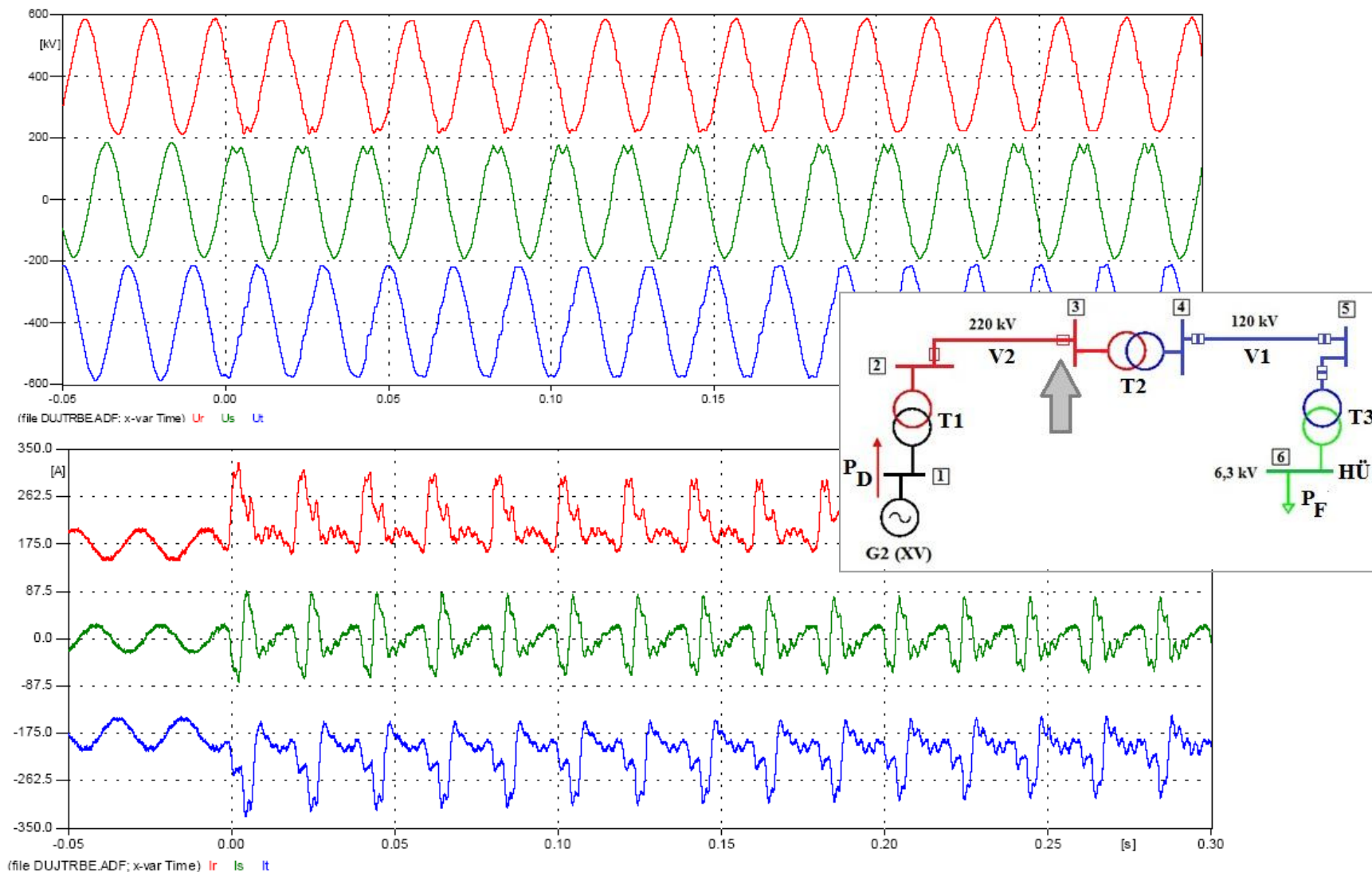
(file dume_paks_blackstart_frq_v2.pl4; x-var t) v:PAKS1A v:PAKS1B v:PAKS1C

6. ábra - Mérésponthi impedancia a frekvencia függvényében a Paksi 120/6.6 kV-os transzformátor 120 kV-os oldalán. Felső görbék: a három fázis $Z(f)$ jelleggörbéje a blokktranszformátor és a dunaujvárosi 220/126 kV-os transzformátor szabályozójának középállásában. Alsó görbék: $Z(f)$ jelleggörbék a blokktranszformátor szabályozójának -15%-os és a dunaujvárosi 220/126 kV-os transzformátor szabályozójának +12%-os állásában.

Rendszer-helyreállítás

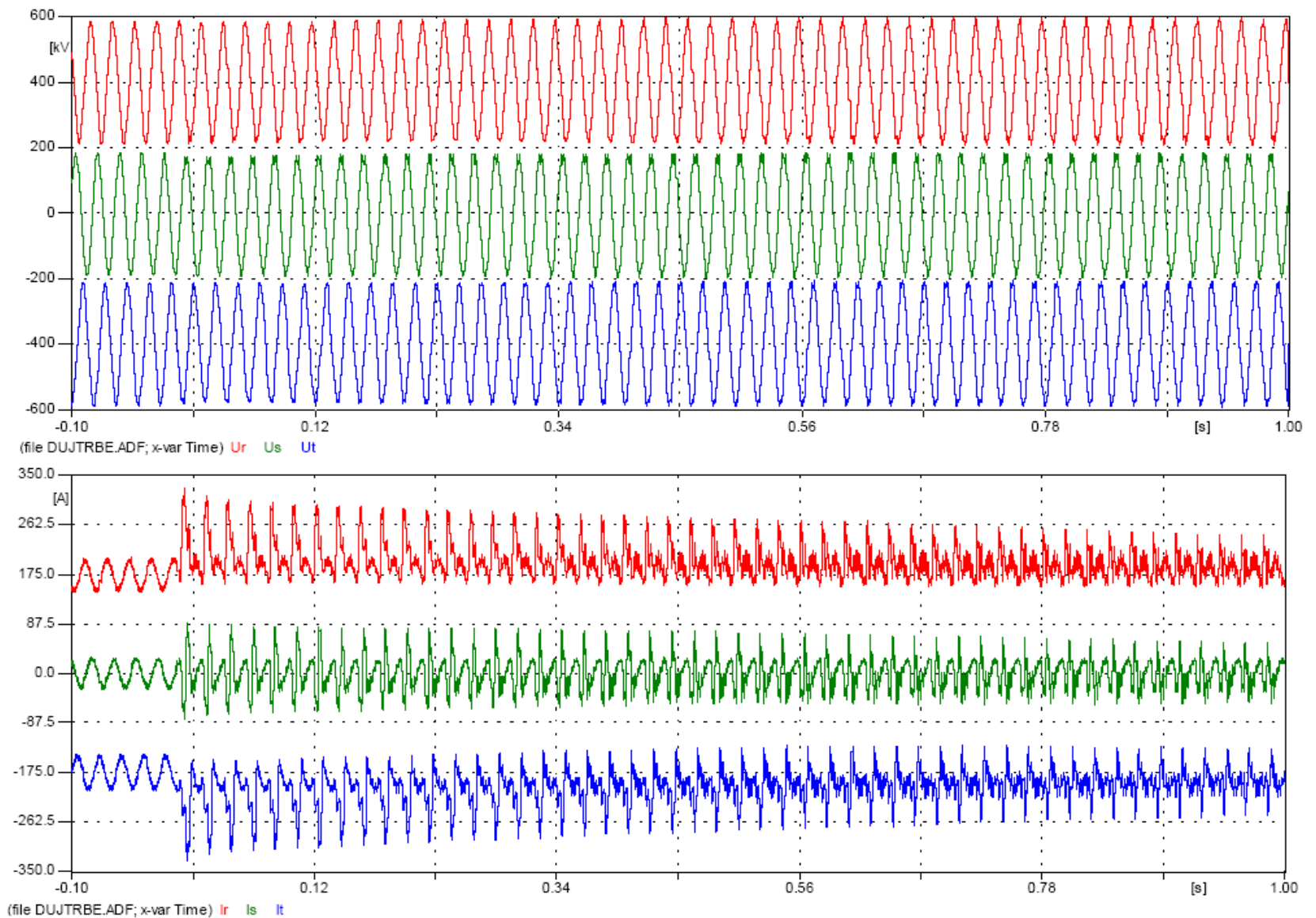


2. ábra – (22:26) Dunamenti-Dunaújváros II. 220 kV-os távvezeték feszültség alá helyezése. A vezeték végpontja terheletlen, a 220/126/10.5 6 kV-os transzformátor 2T jelű megszakítója nyitott állapotban. Felső görbék: fázisfeszültségek a vezeték dunaújvárosi végpontján, alsó görbék: a 220 kV-os vezeték fázisáramai a dunamenti tápponton.

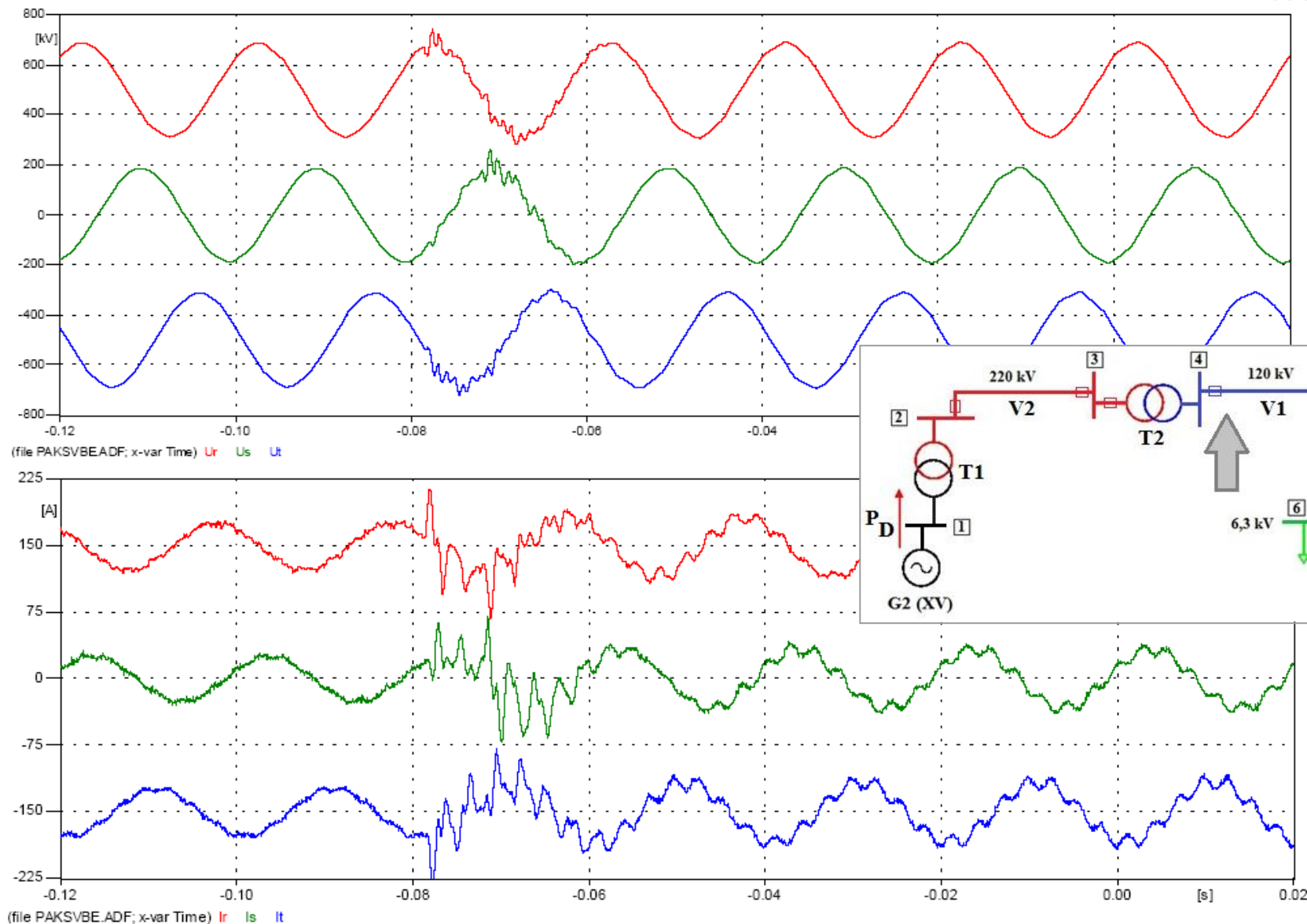


3. ábra – (22:31) A dunaújvárosi 220/126/10.5 kV-os transzformátor feszültség alá helyezése a már korábban bekapcsolt 220 kV-os távvezeték 2T jelű megszakítójának működtetésével. Felső két diagram: feszültség a Dunamenti 220 kV-os Állomás K gyűjtősinén, valamint a 220 kV-os távvezeték áramai a dunamenti végpontban. Alsó két diagram: a fenti feszültség és áram jelek a kapcsolás környezetében, növelt időléptékben.

Rendszer-helyreállítás

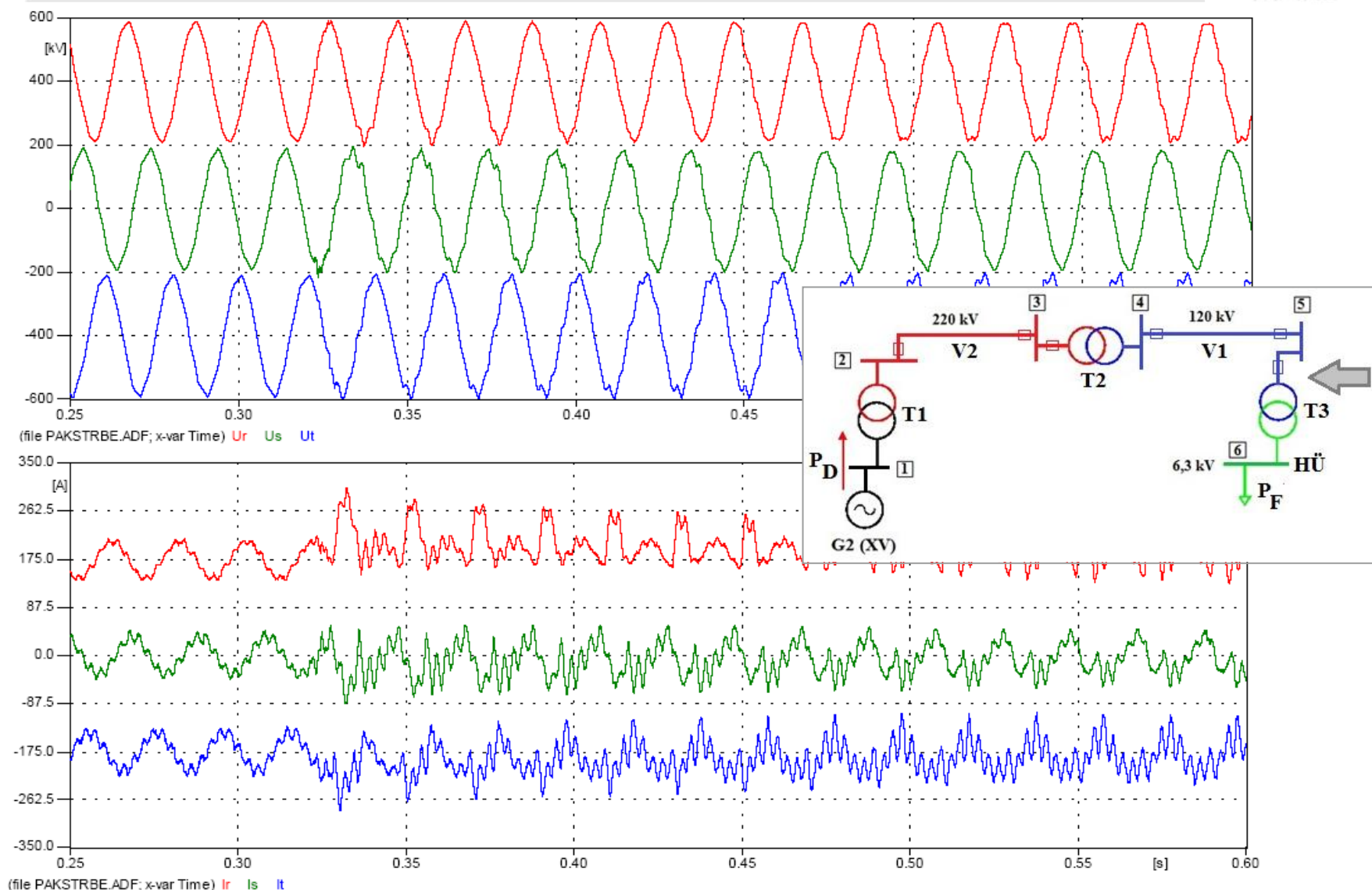


Rendszer-helyreállítás

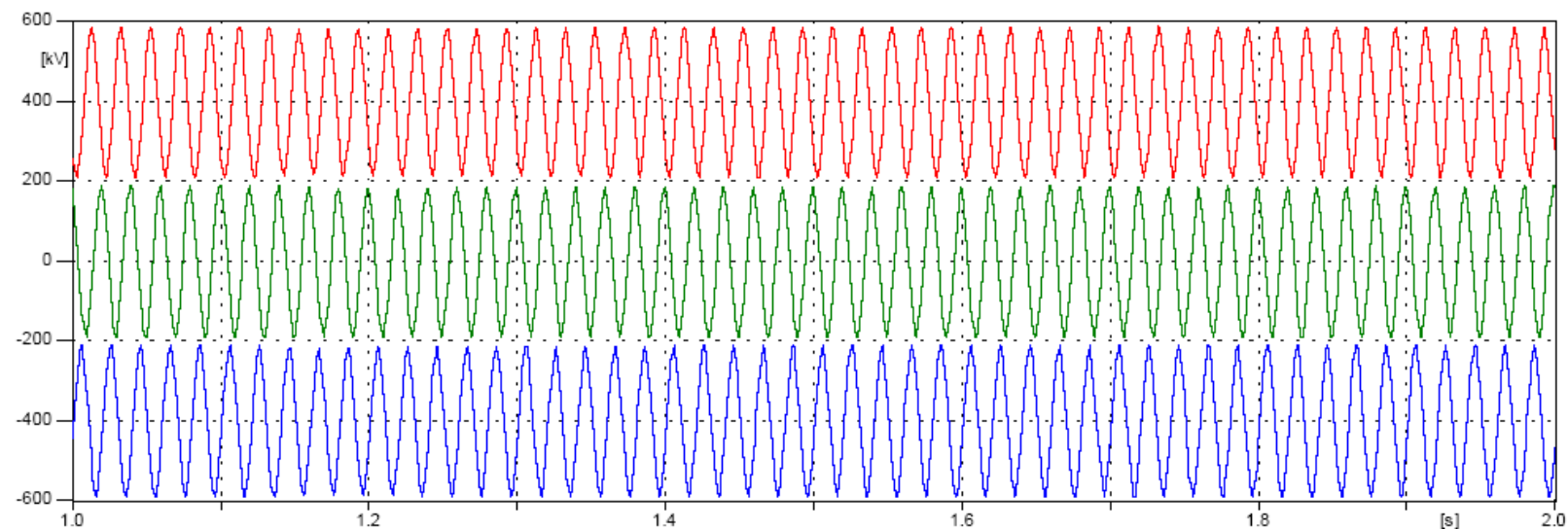


4. ábra – (22:35) Dunaújváros – Paks 120 kV-os távvezeték hozzákapcsolása a feszültség alatt álló Dunaújváros II. távvezeték – 220/126/10.5 kV-os transzformátor rendszerhez. Felső két diagram: feszültség a Dunamenti 220 kV-os Állomás K gyűjtősinén, valamint a 220 kV-os távvezeték áramai a dunamenti végpont.

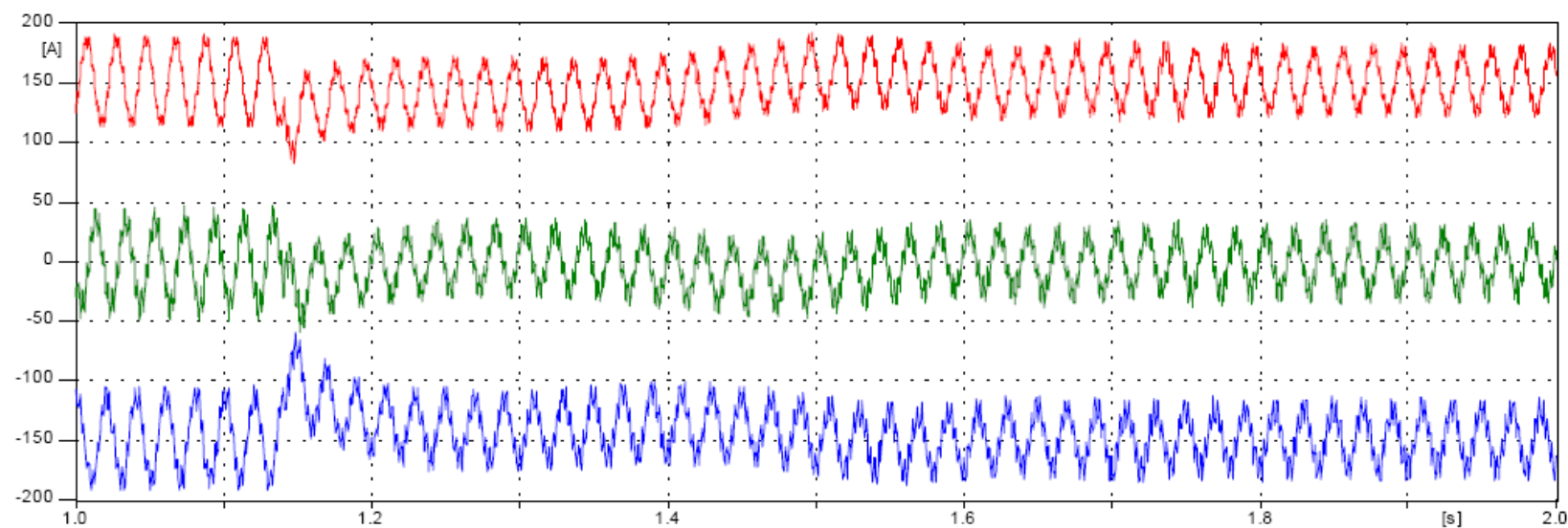
Rendszer-helyreállítás



5. ábra – (22:41) A paksi 120/6.6/6.6 kV-os transzformátor feszültség alá helyezése. Felső két diagram: feszültség a Dunamenti 220 kV-os Alállomás K gyűjtősinén, valamint a 220 kV-os távvezeték áramai a dunamenti végponton. Alsó két diagram: a fenti feszültség és áram jelek a kapcsolás környezetében, növelt időléptékben.



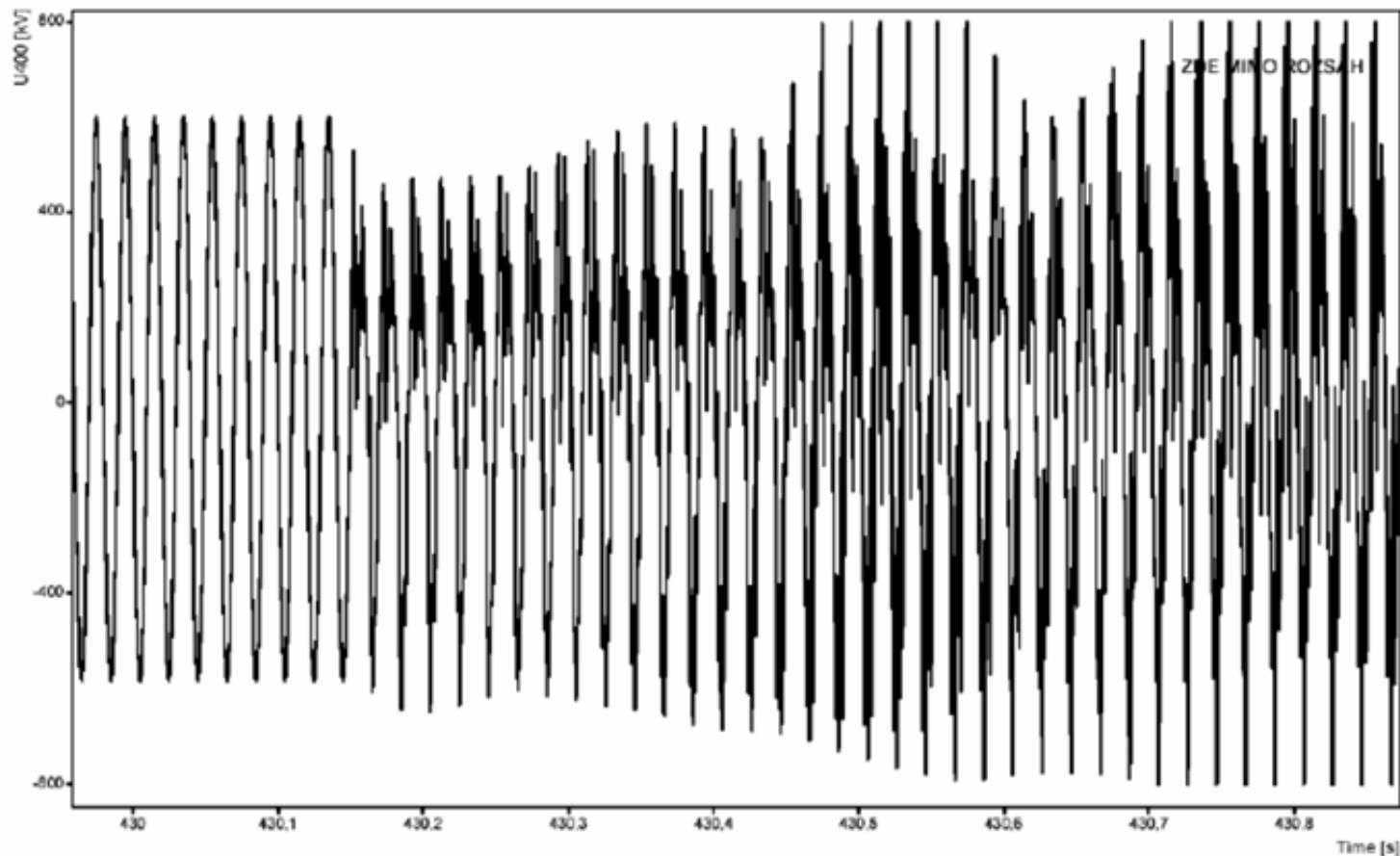
(file PAKSL222.ADF; x-var Time) Ur Us Ut



(file Paks1222.adf; x-var Time) Ir Is It

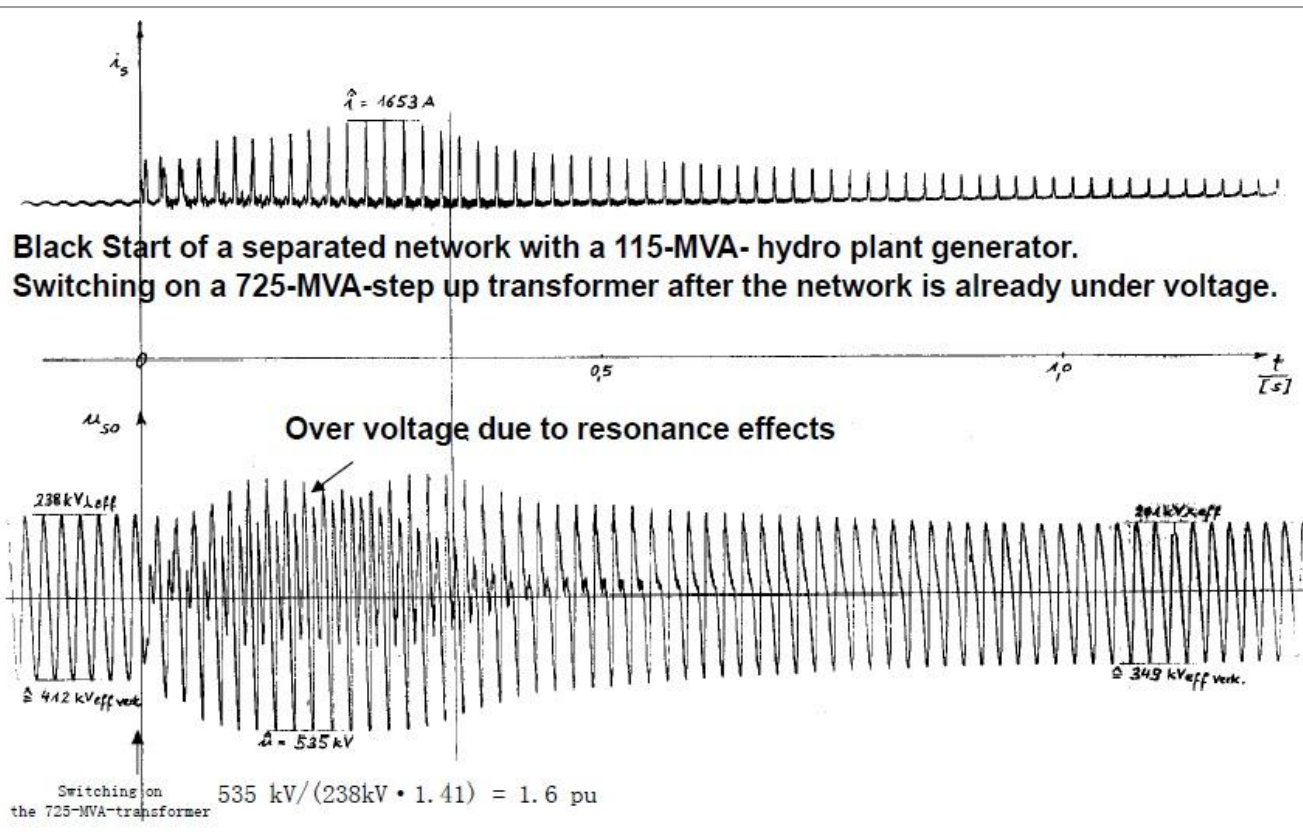
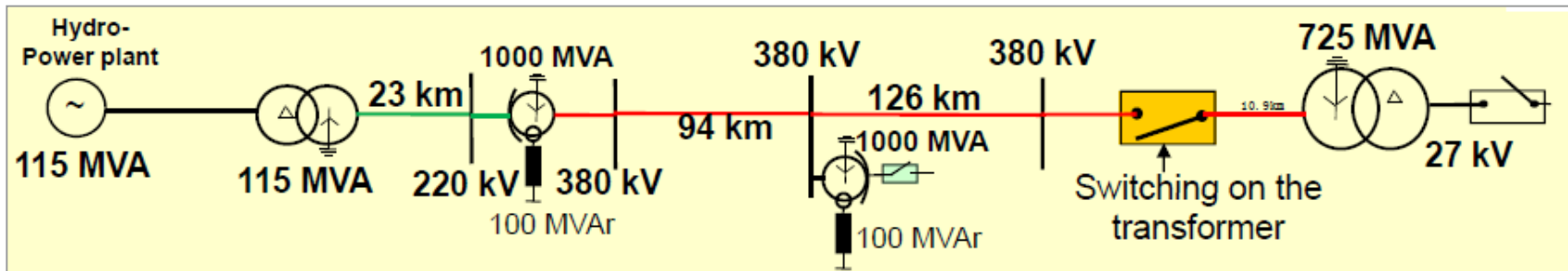


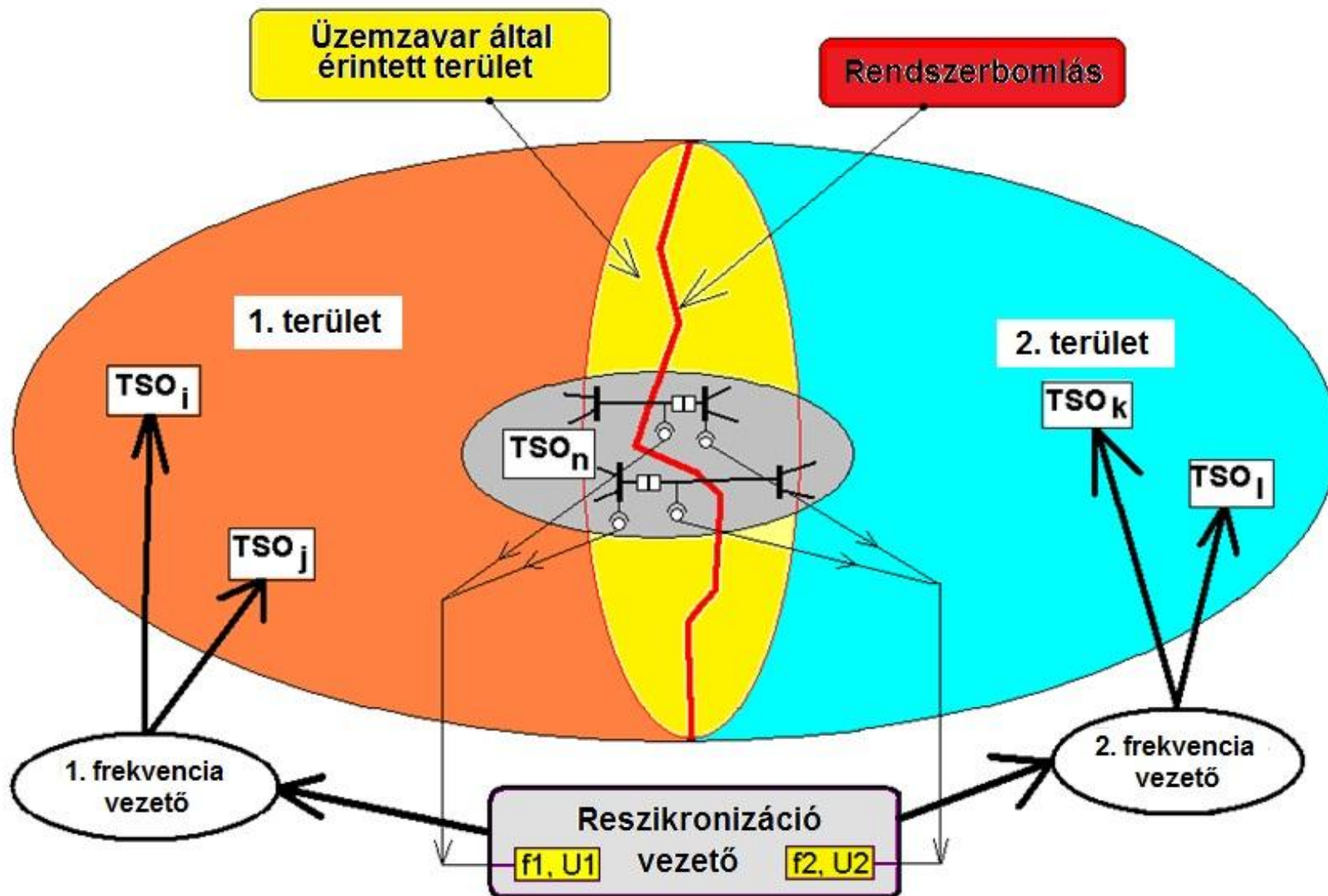
Test



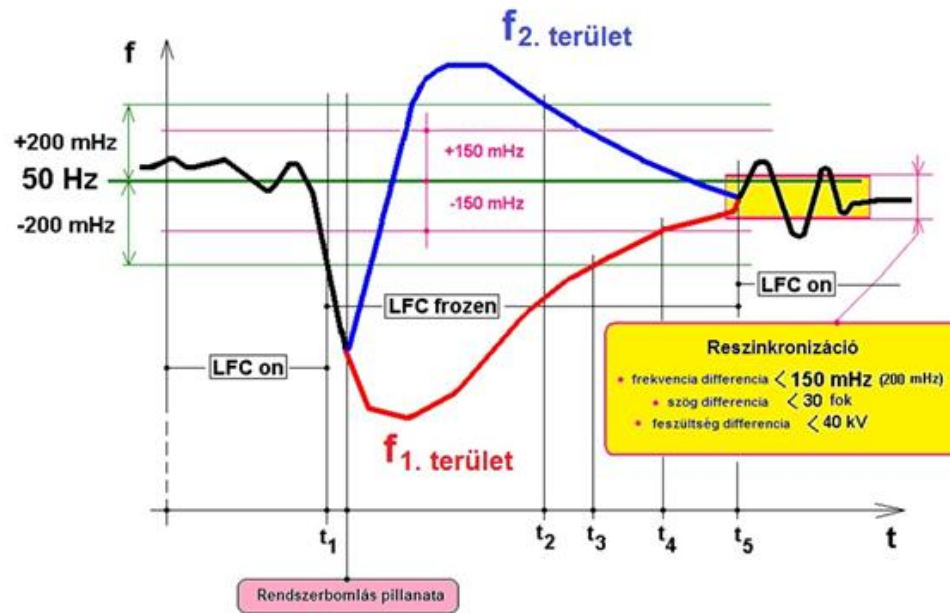
CEPS próba – rezonanciás túlfeszültségek (Dukovany táplálása Dalesice tározós erőműből, 2004)

Rendszer-helyreállítás



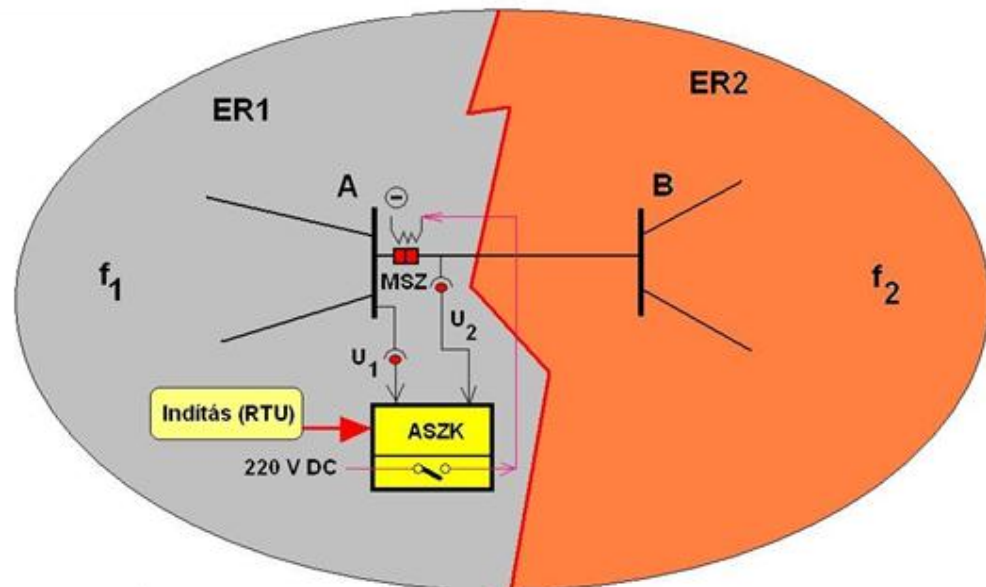


Reszinkronizálás lehetséges szervezeti kialakítása

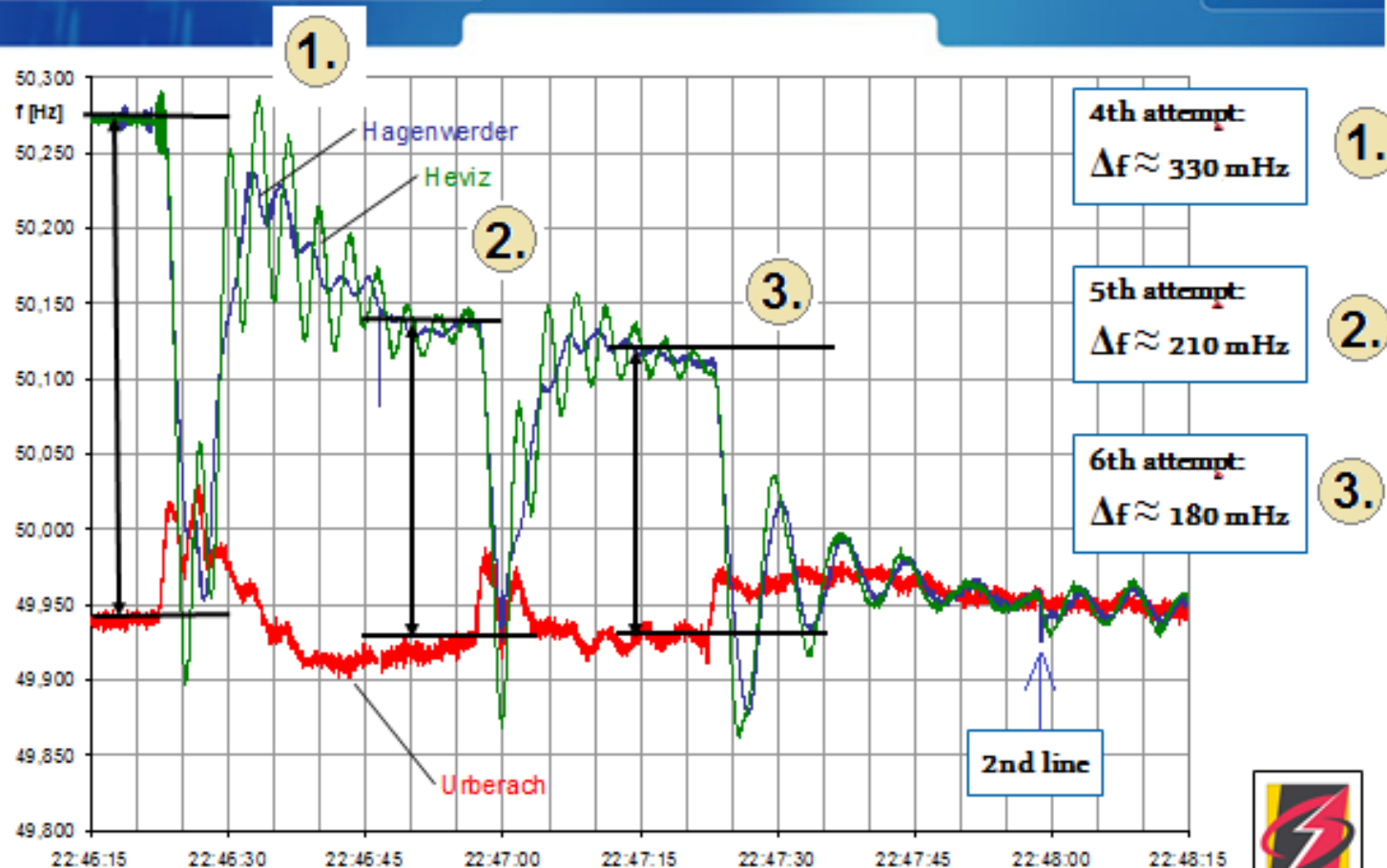


**Frekvenciamenet
reszinkronizálás esetén**

**Rendszerek közötti
szinkronizálás
(ASZK, Parallel
switching Device –
PSD)**



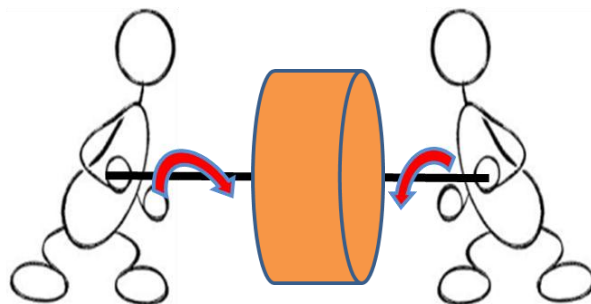
Re-Synchronisation attempts on 04-11-06





Kihívások:

- (1.) Megnövekedett tranzit áramlások → a VER-ek a stabilitás határához közeli üzemállapotba kerülnek.
- (2.) Megújuló energiatermelés (szél, nap, biogáz) integrálása → szabályozási nehézségek, rendszer inercia csökkenése.



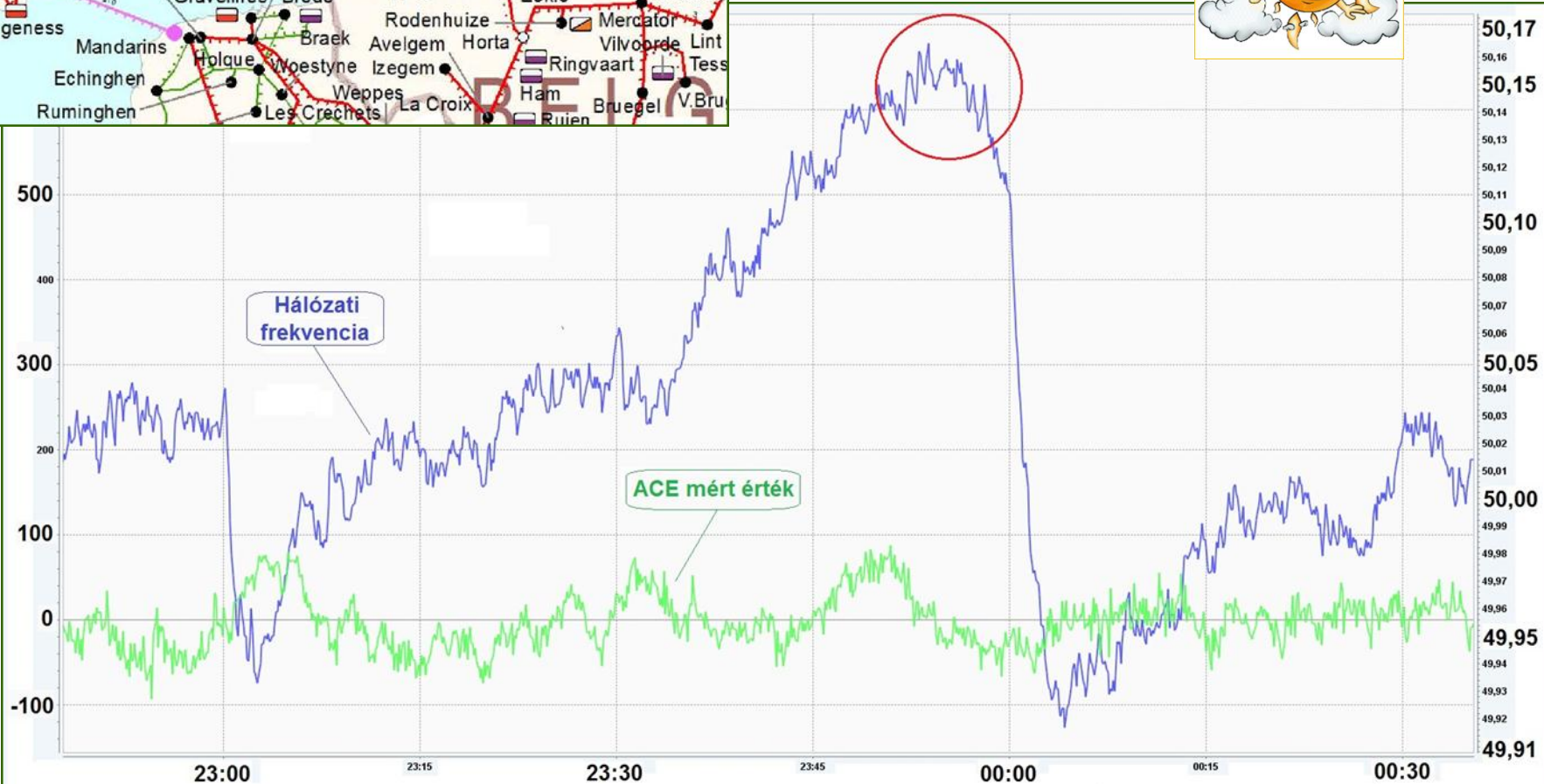
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta P_{pu}}{2H_{equ}}$$



- (3.) 50,2 Hz probléma (49,5/49,8/50,2/50,3 Hz-nél automatikus leválás).
- (4.) EU Hálózati Kódok (Network Code) nemzeti implementálása, honosítása:
 - NC RfG – generátorok (komitológia alatt)
 - NC ER – Emergency and Restoration (kidolgozás alatt)



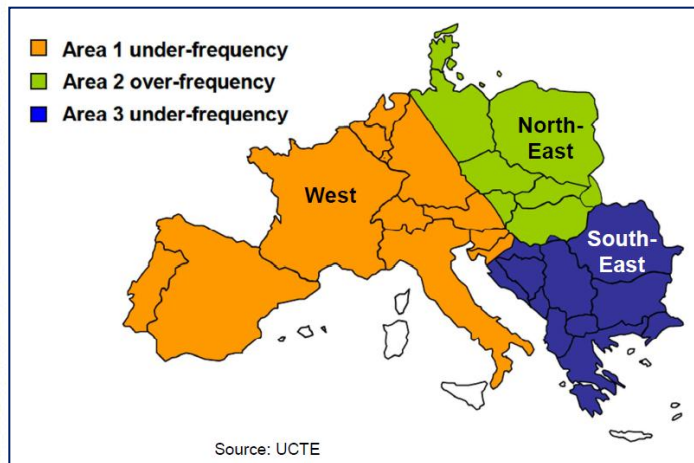
Rendszer-helyreállítás



Frekvenciamenet 2011. december 13., 22:47 - 14., 00:35

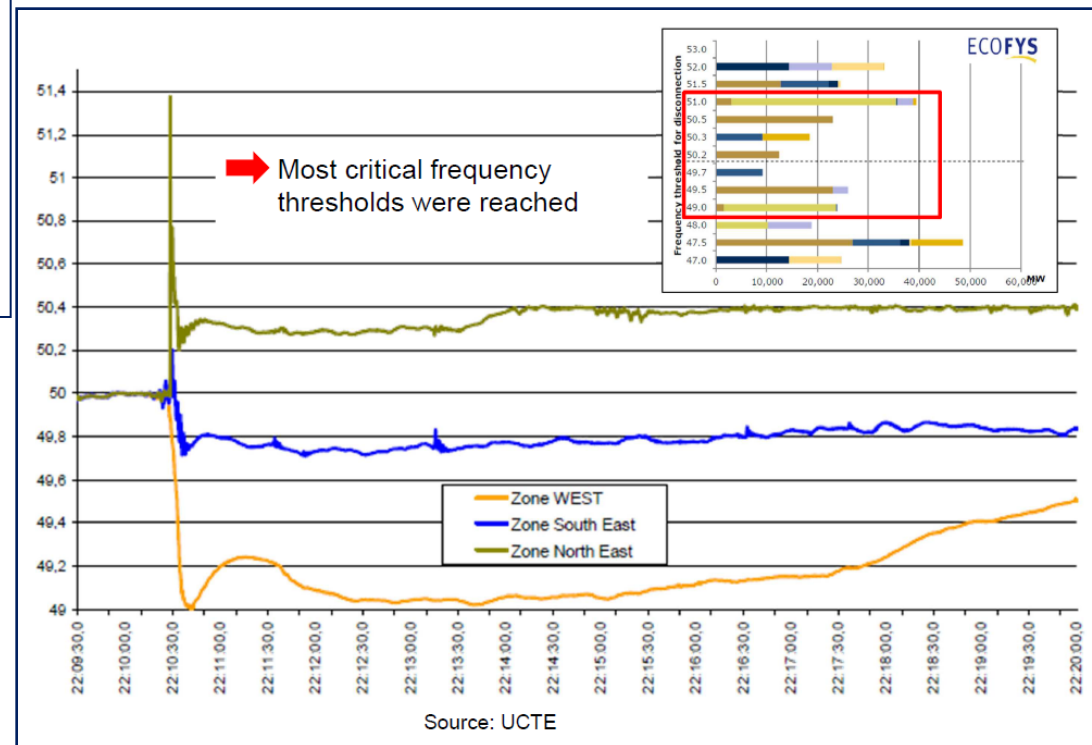
Az 50,2 Hz-es frekvencia érték megközelítése
üzemzavar mentes esetben

2006. november 4., 22:10 – három részre szakadt az UCTE rendszer.



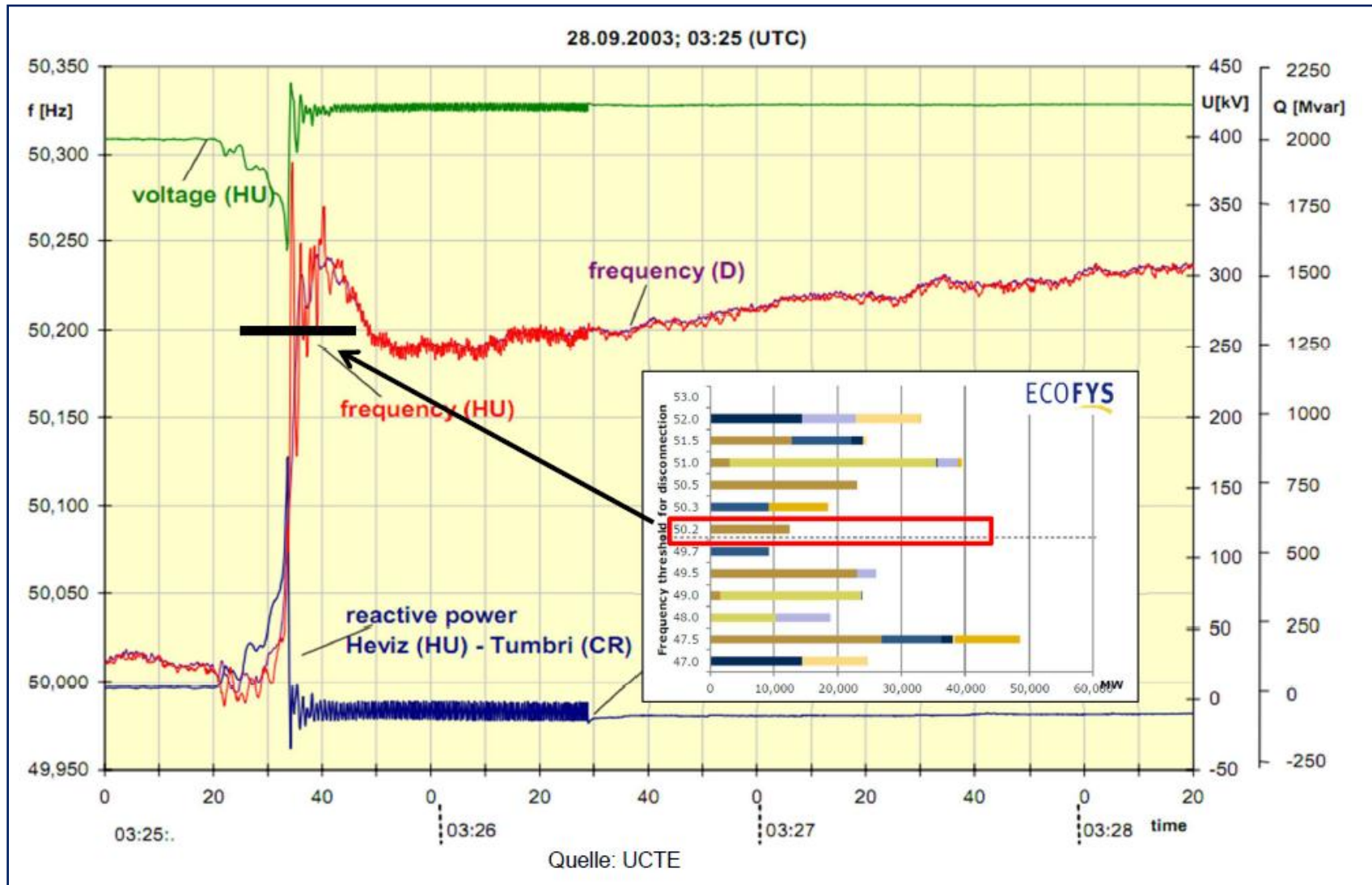
Problémák:

- Indokolatlan forráskiesés 49,5 Hz-nél,
- Reszinkronizációs nehézség az elosztott termelés automatikus visszatérése miatt.

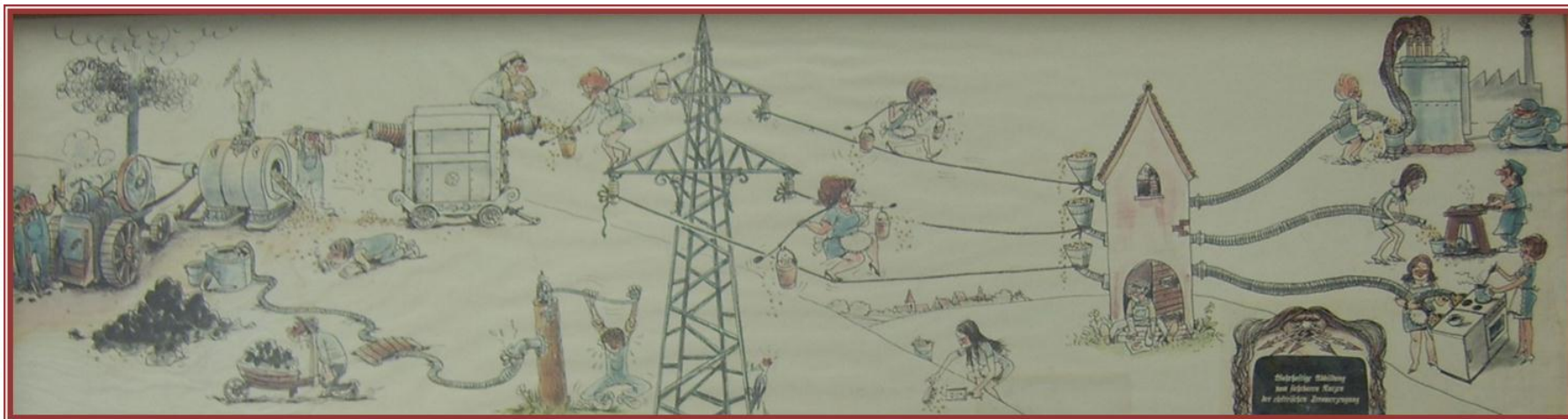


**Frekvenciamenet az
üzemzavar során.**

2003. szeptember 28., Itáliai rendszerösszeomlás



Európai frekvencia tartósan 50,2 Hz fölött



KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ FIGYELMET!



A magyar villamosenergia- rendszer helyreállítása black-out után



Decsi Gábor

**üzemirányítási üzemvezető
Országos Diszpécser Szolgálat**

MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli
Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság

*MAVIR Hungarian Independent
Transmission Operator Company Ltd.*





Az előadás célja:

Szakmai ismeret bővítés, gyakorlat(ias)
szempontok

- 1.) A villamosenergia-rendszer üzemzavarainak felismerése
- 2.) Rendszer helyreállítási stratégiák
- 3.) Szimulációs vizsgálatok



- **helyzettelemzés**
- **megmaradt rendszer stabilizálása**
- **erőművek ellátása** (Az erőművek külső energiával történő rövid időn belüli ellátása nagyban növeli sikeres visszaindulásuk esélyeit)
- **terv készítése az üzem visszaállítására**
- **hálózati elemek visszakapcsolása**
- **erőművek indítása, (lassú) termelés-terhelés visszaállítás**
- **a helyreállított részek üzemének megtartása**



Erőművek indítása

Paks AE indítás -> újraindítás idejének csökkentése

Wattos teljesítmény egyensúly tartása

Meddő teljesítmény egyensúly tartása (generátor gerjesztési korlátok)

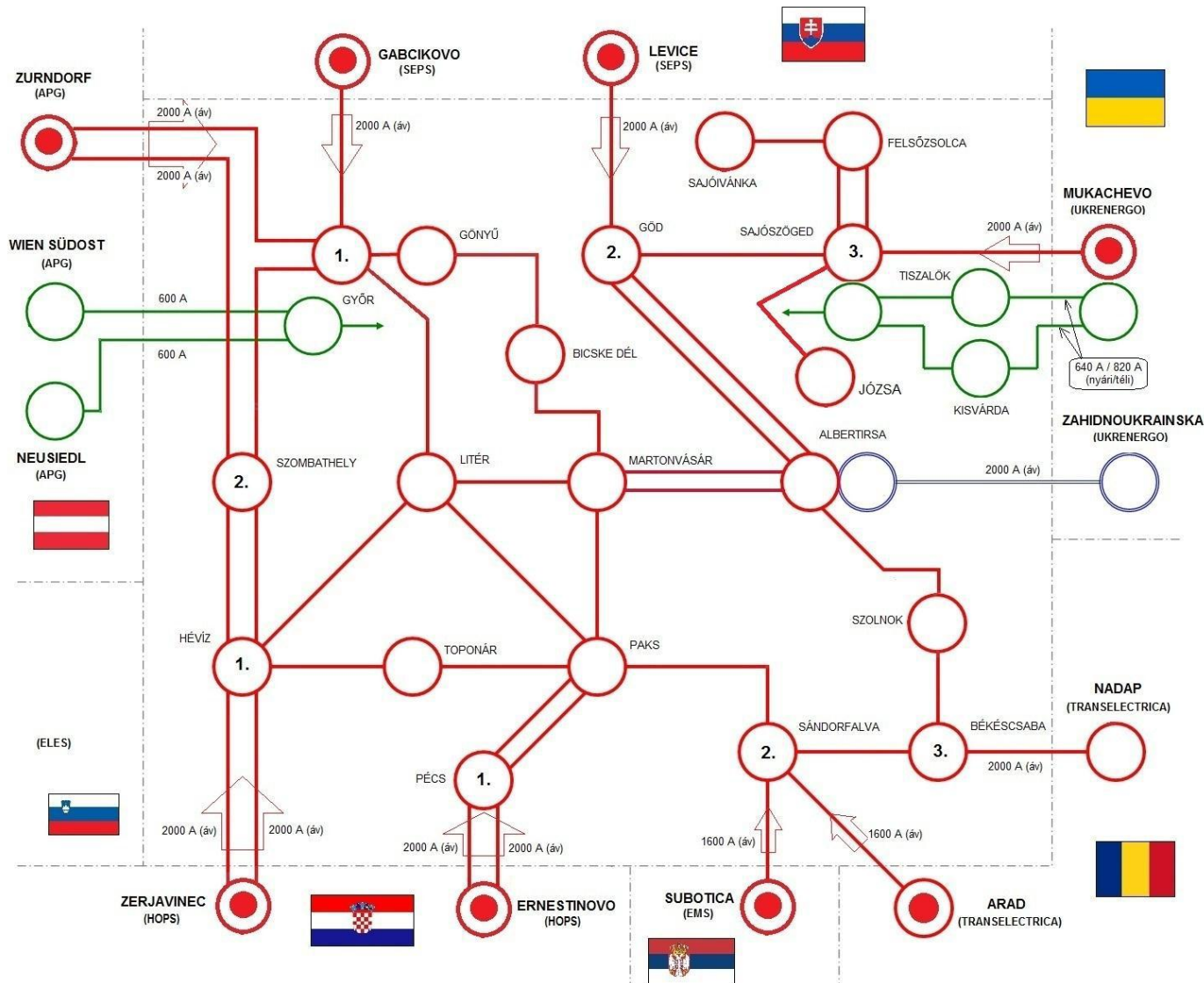
Automatika beállítások (HVA bénítások)

Nemzetközi koordináció

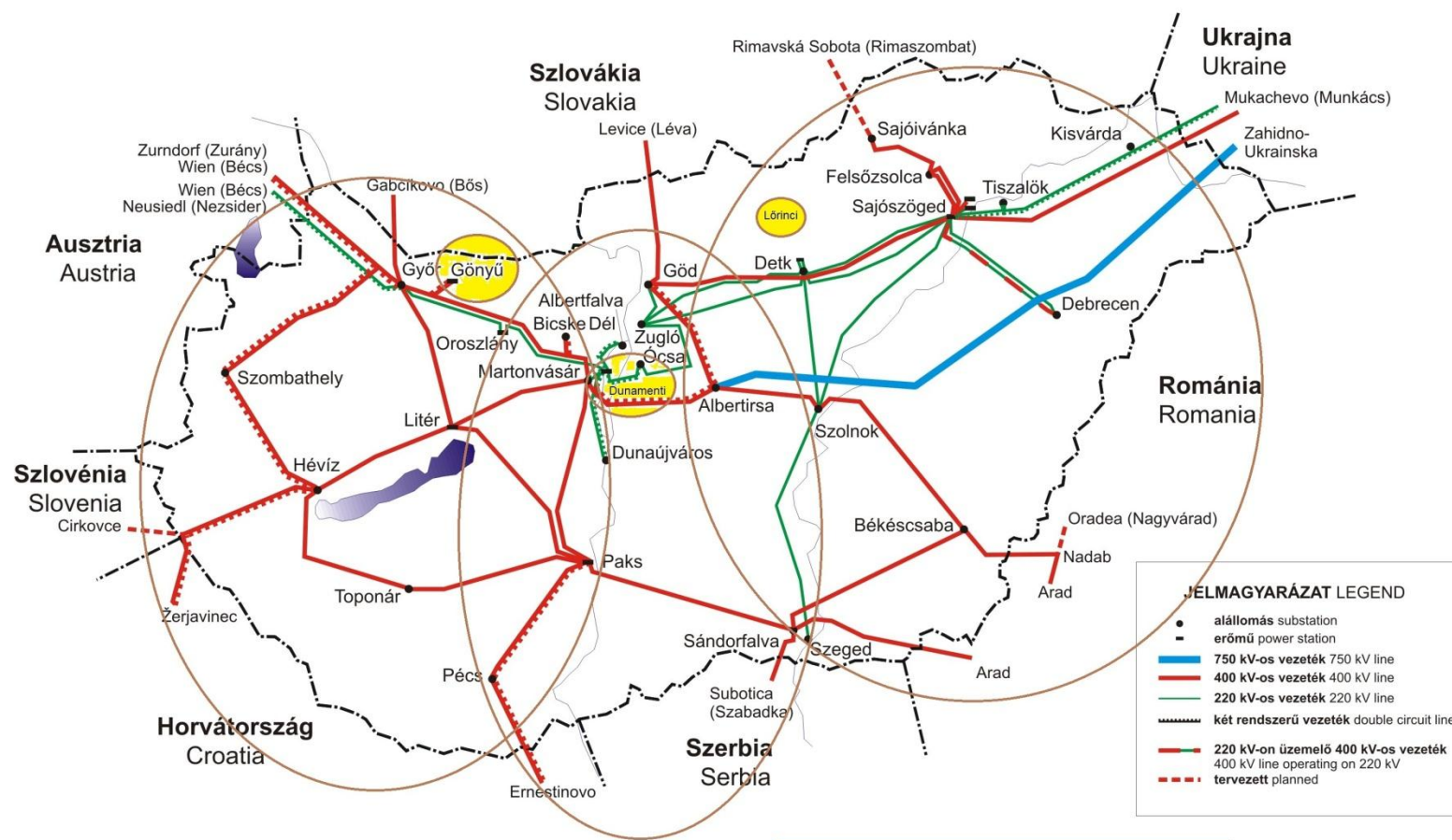
Belső szigetek szinkronizálási lehetőségei (ASZK)

Zárlati teljesítmények

Építkezés – fölülről lefelé



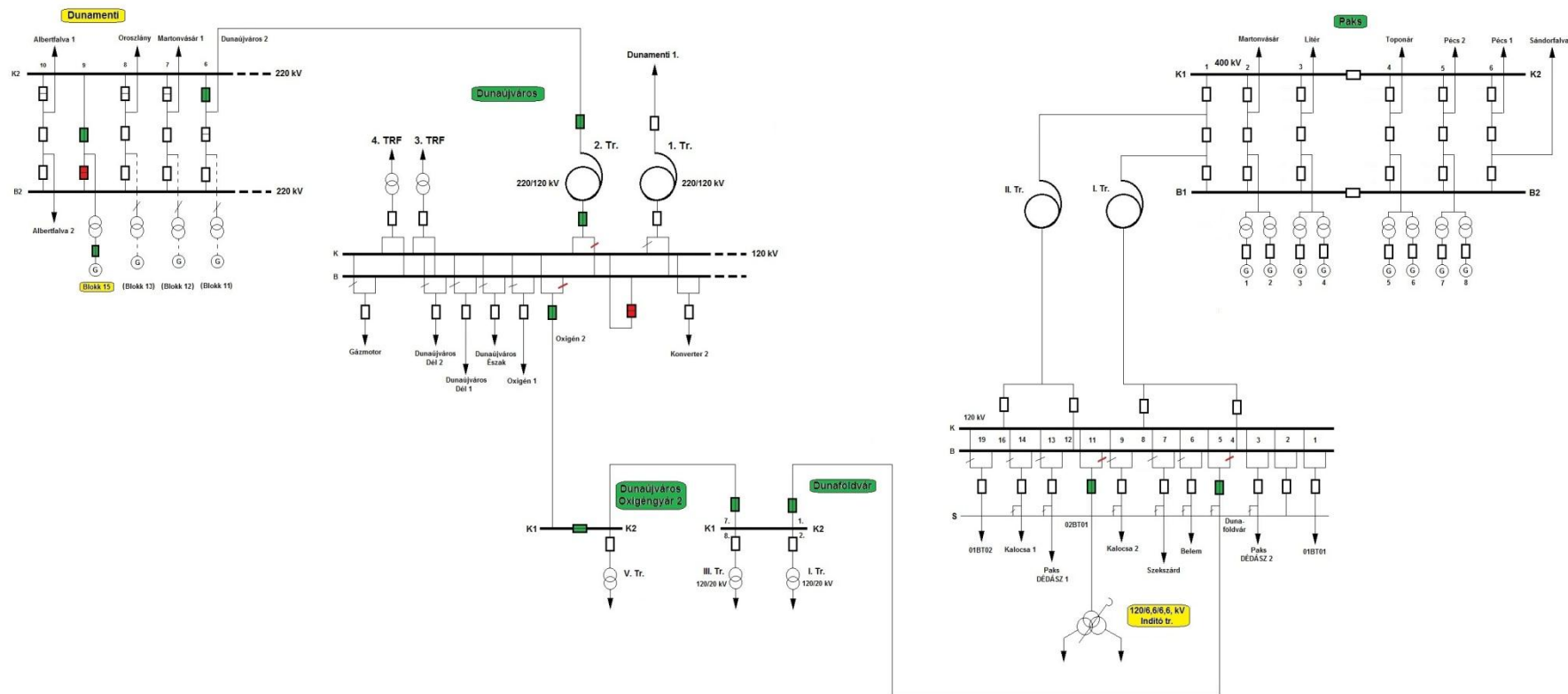
Építkezés – alulról felfelé



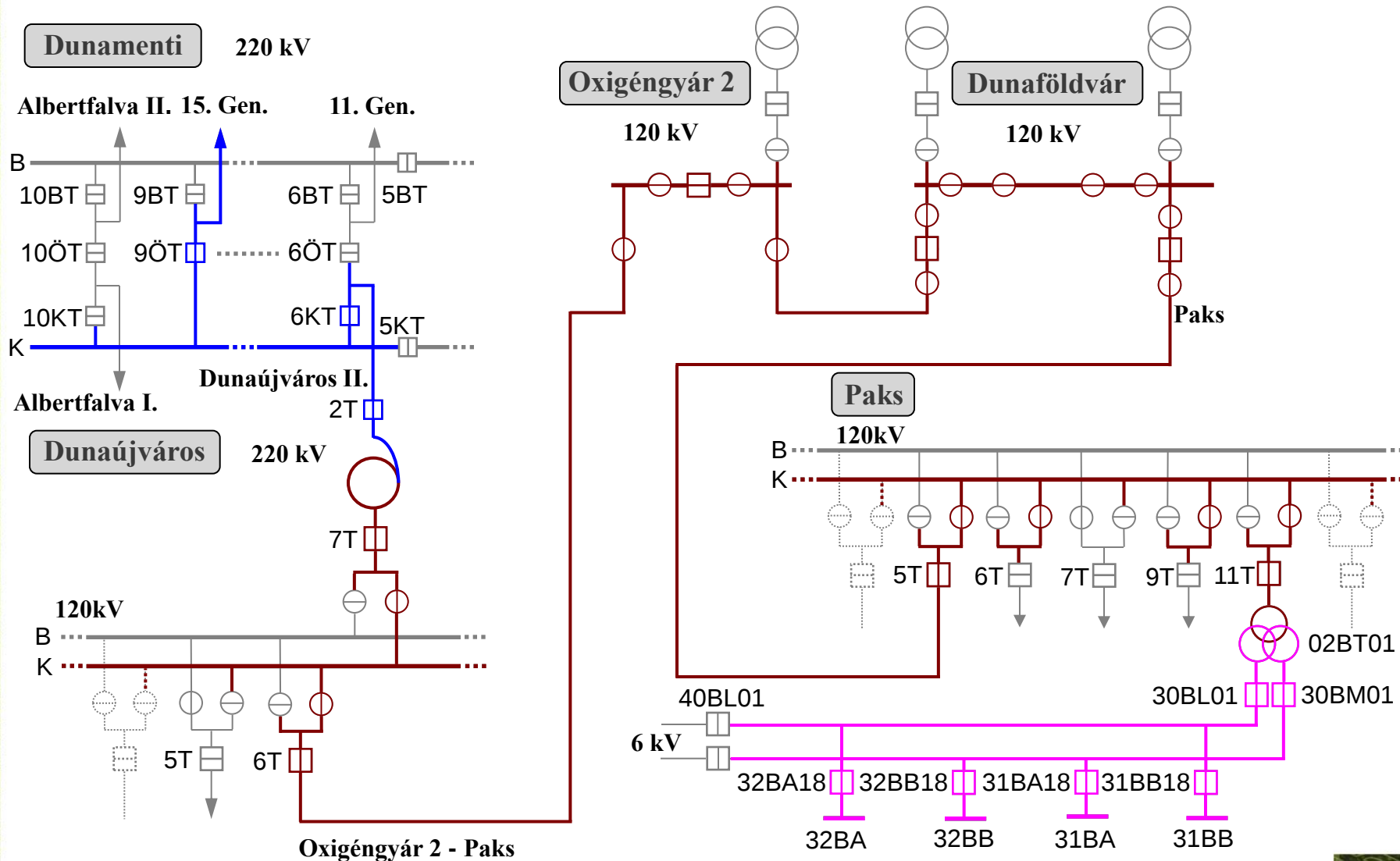
"Black start" képes erőművi gépegységek:

- Dunamenti GT XV: 156 MW (220 kV)
- Gönyű GT: 285 MW (400 kV)
- Lőrinci GT: 170 MW (120 kV)

Dunamenti – Paks (120 kV)

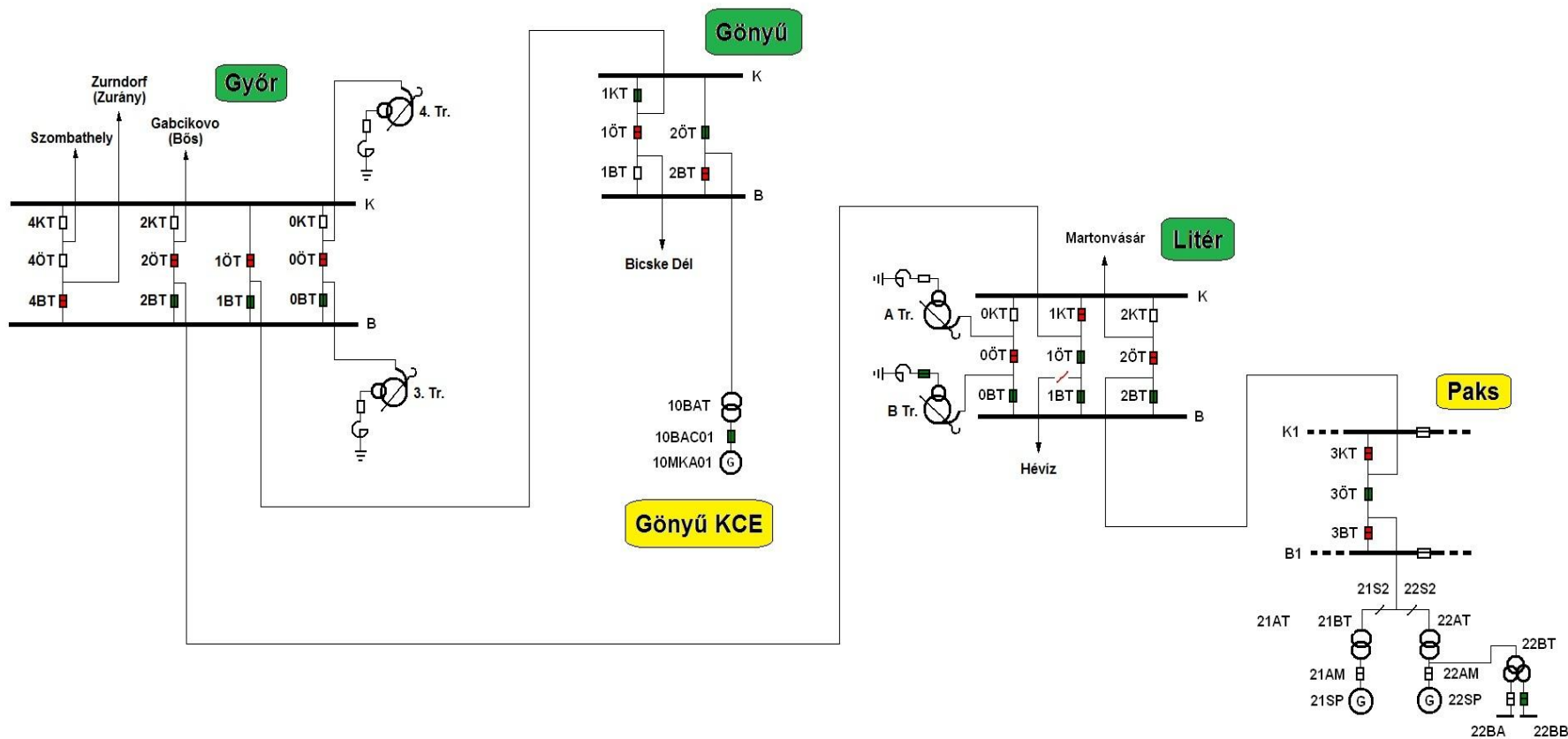


A Dunamenti Erőműtől a paksi háziüzemig

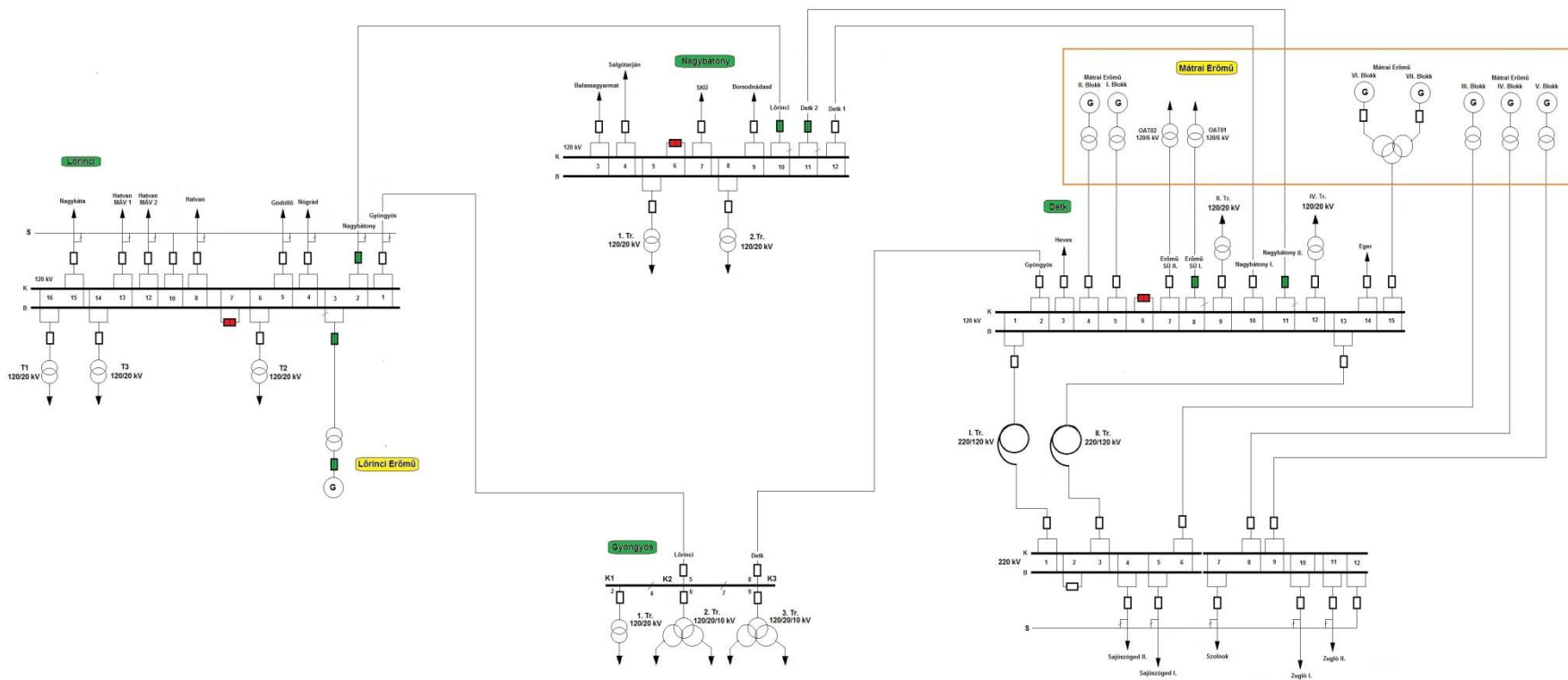




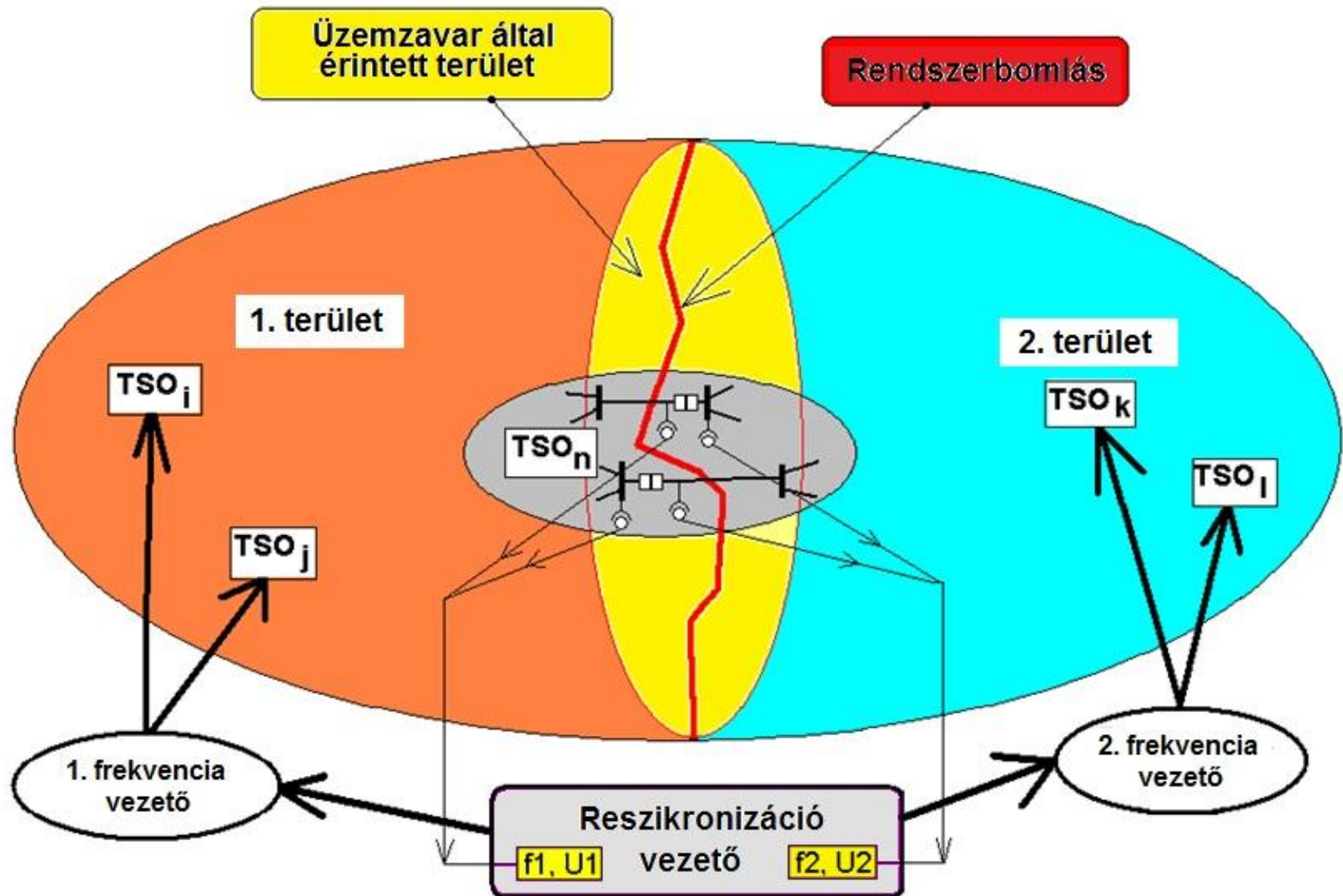
Gönyű – Paks (400 kV)



Lőrinci – Mátra (120 kV)



Reszinkronizáció – de hol? (feltételek)



Sajnos csak a szimulátor tudja (☺)

Training CONS1 19064- Szimulátor

Fájl Nézet Beállítás EExecution Events Input Relays AGC Output Súgó

Hálózati Szigetek Összesítő

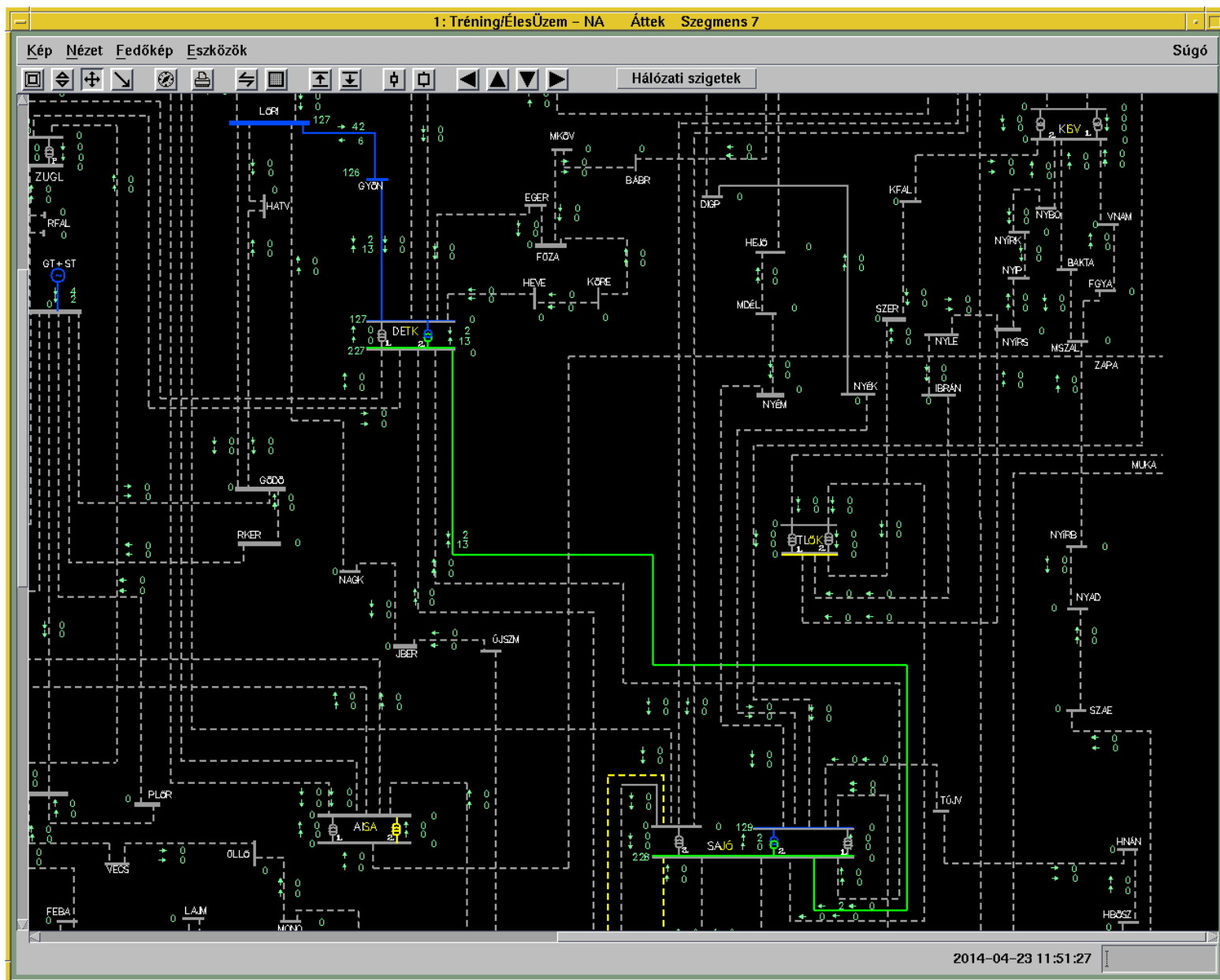
Sziget	dP MW	Termelés MW	Fogyasztás MW	Veszteség MW	Frekvencia Hz	Inercia MWs	Sziget Neve
1	-0.04	44.1	43.7	0.4	51.28	1151.7	LŐRI 15kV erőm
2	-2.70	83820.6	83319.8	503.6	49.99	1610241.6	UCTE 400kV gép5
3							
4							

Előző Kézi Végrehajt Mégse Ismétel KERES(1)

2014-09-30 10:41:48



Lőrinci – Detk - Sajószöged

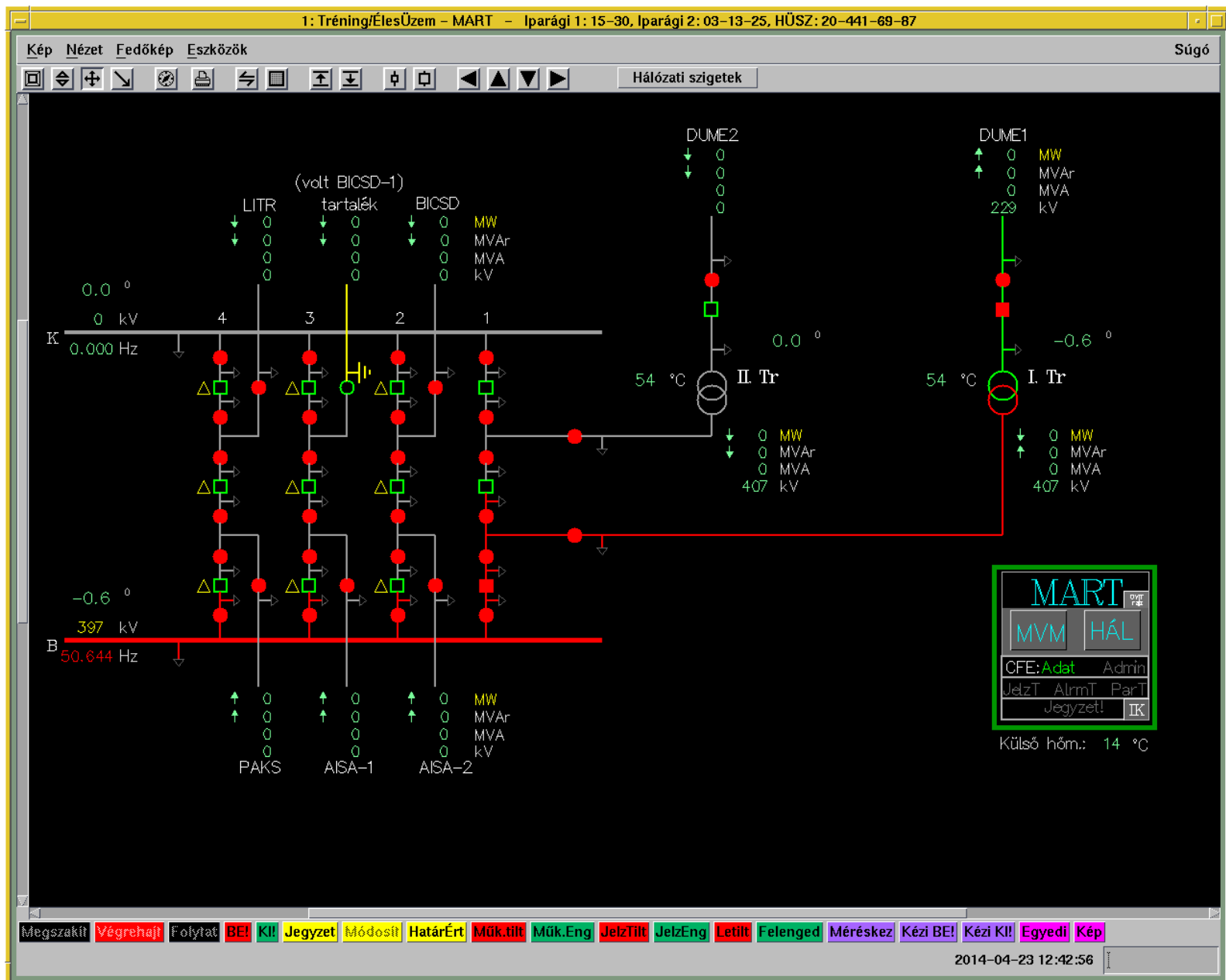




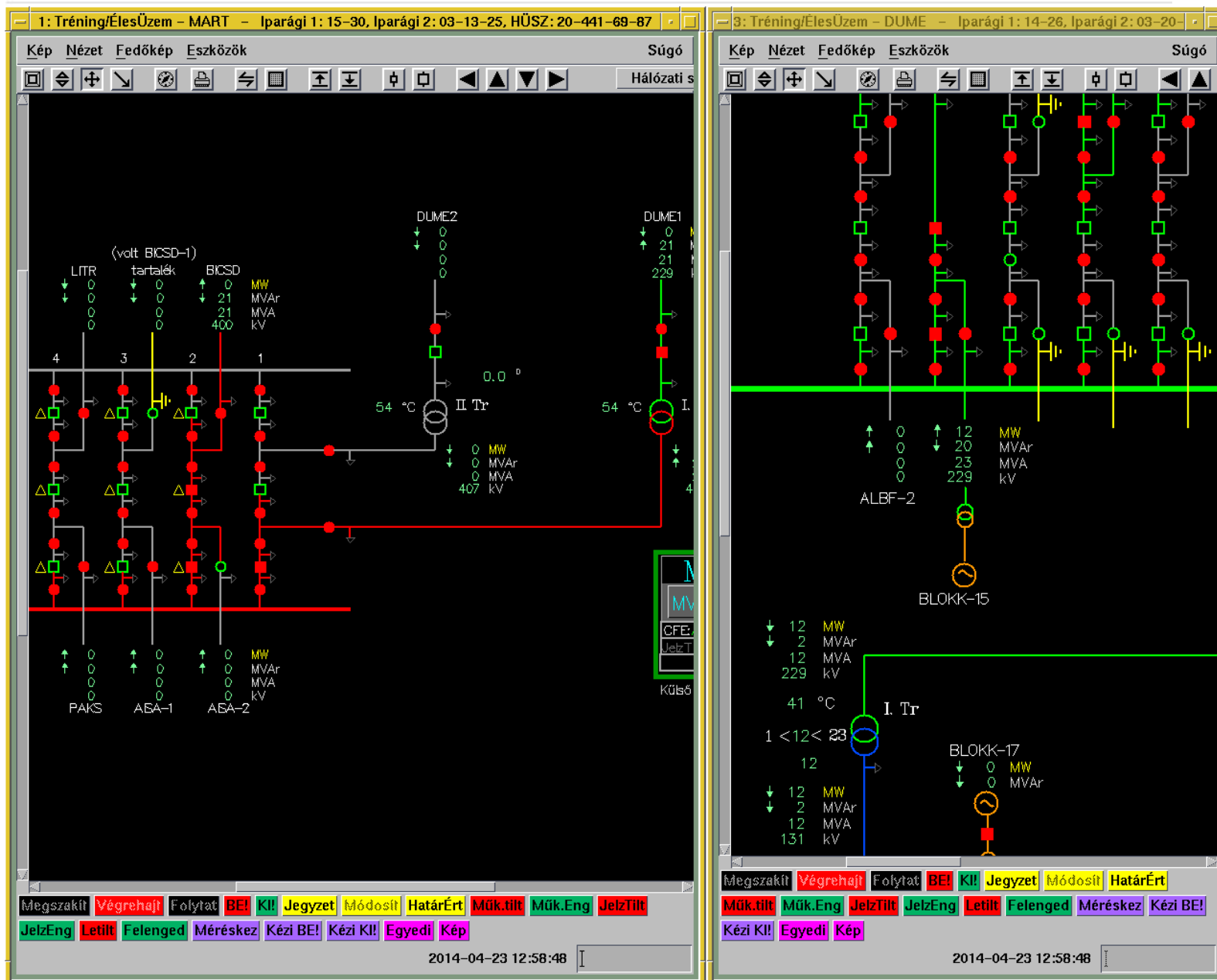




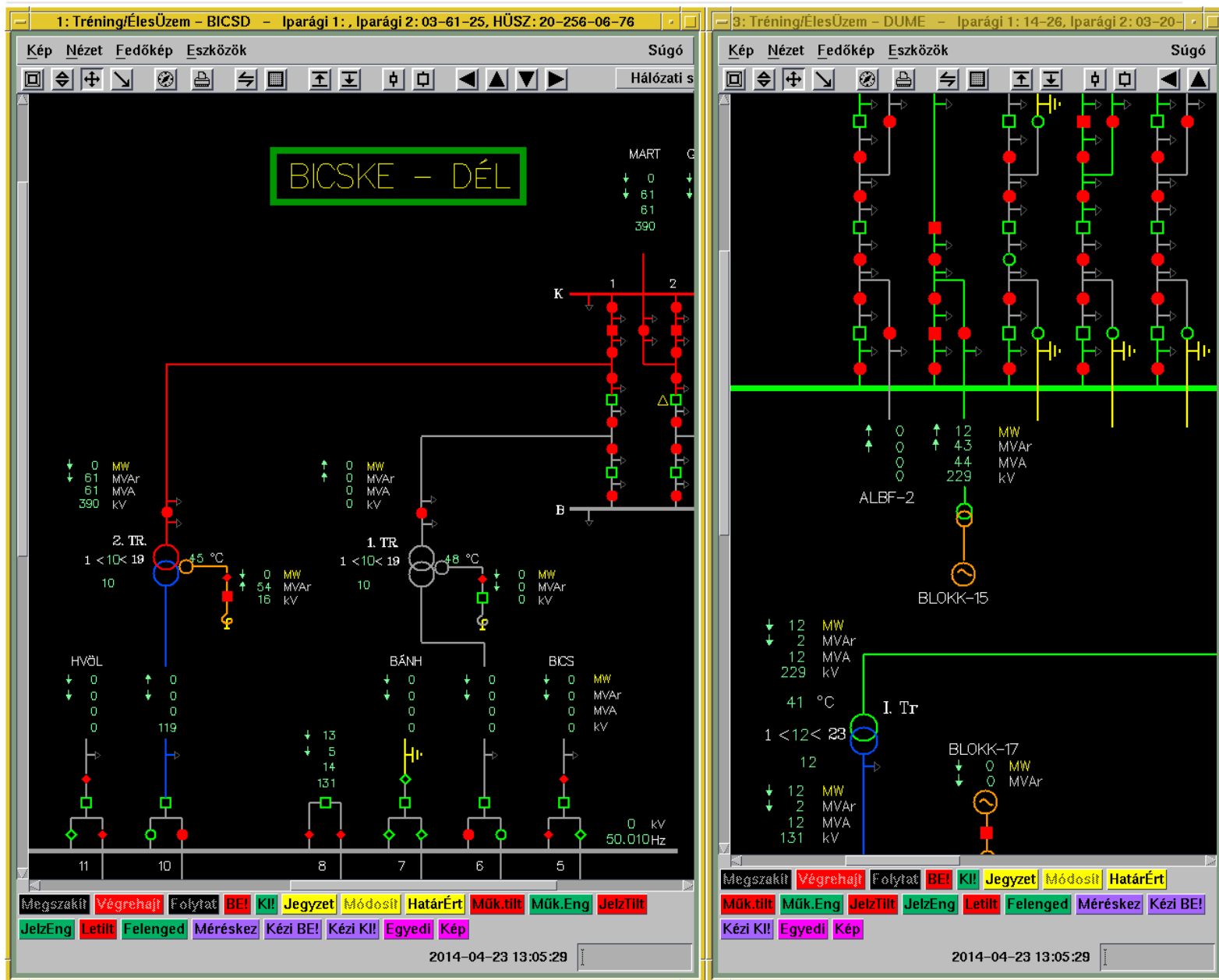
Dunamenti – Paks útvonal (400 kV)



Dunamenti – Paks U/Q viszonyok (1)

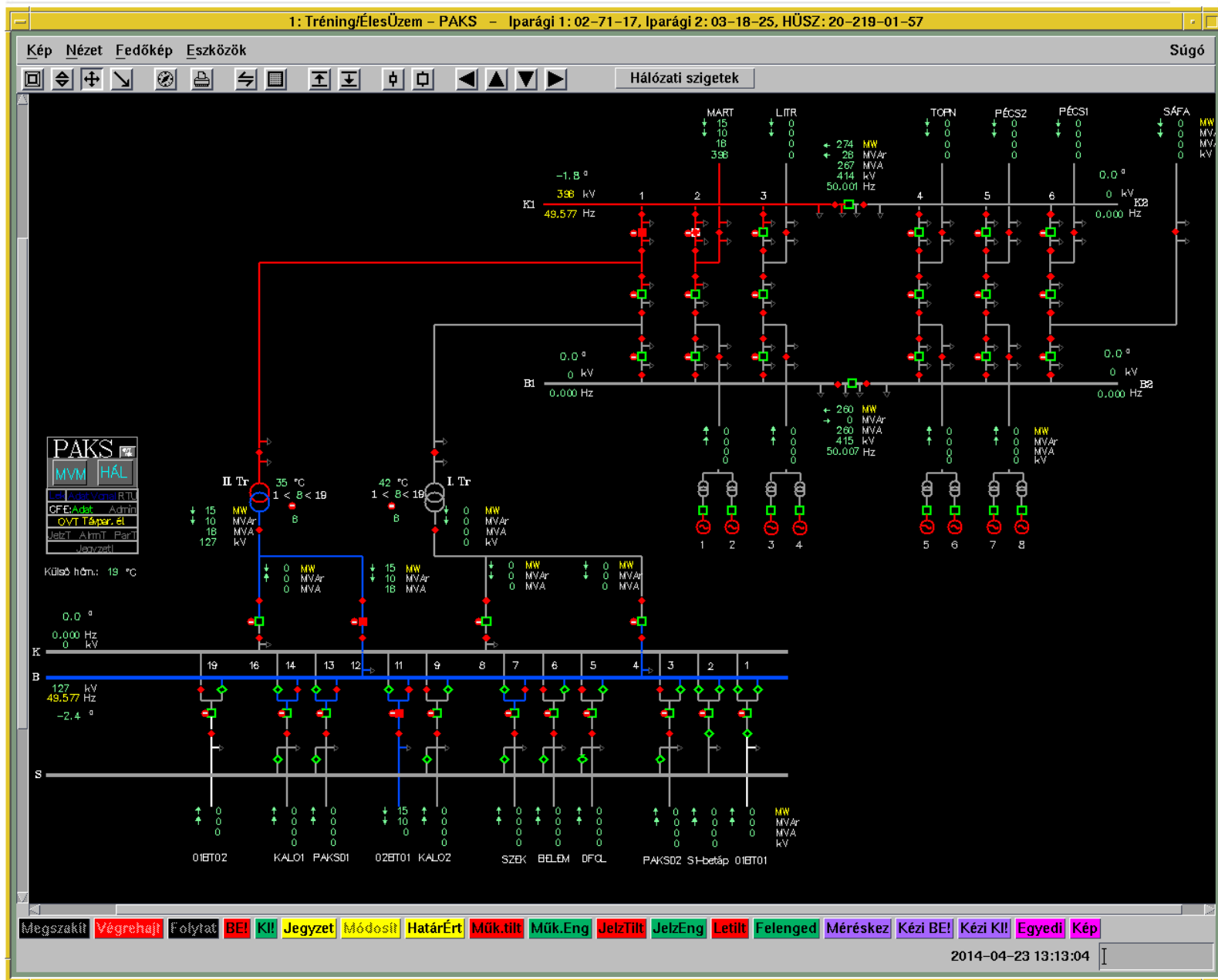


Dunamenti – Paks U/Q viszonyok (2)

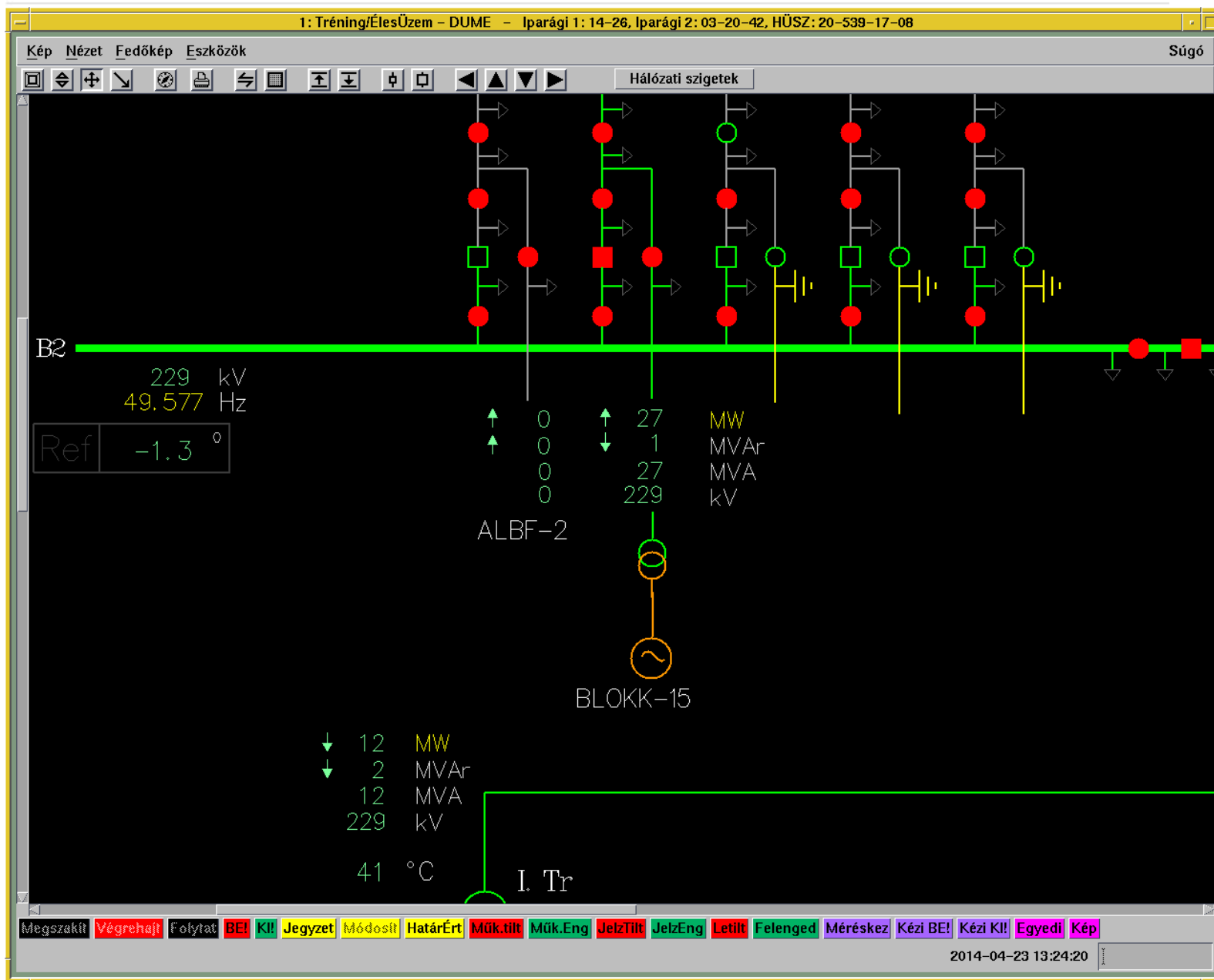




Dunamenti – Paks U/Q viszonyok (4)



Dunamenti – Paks U/Q viszonyok (5)







Köszönöm a figyelmet! decsi@mavir.hu

