



# Ostrovní provoz BlackOut

Ivan Petružela



## Osnova

- Frekvenční plán
- Ostrovní provoz
- Frekvenční kolaps v rovině (f,P)
- Obnovení frekvence pomocí frekvenčního odlehčování
- PpS Ostrovní provoz
- 2003 BlackOut Itálie
- 2003 BlackOut USA
- 2006 Stav nouze ČR



## Bilanční rovnice ES

- V každý časový okamžik musí být v ES udržována rovnováha mezi výrobou a spotřebou elektrické energie.

$$\vec{S}_v(t) = \vec{S}_s(t) + \vec{S}_z(t) + \vec{S}_a(t)$$

- Obecná pohybová rovnice rotující hmotnosti je dána vztahem

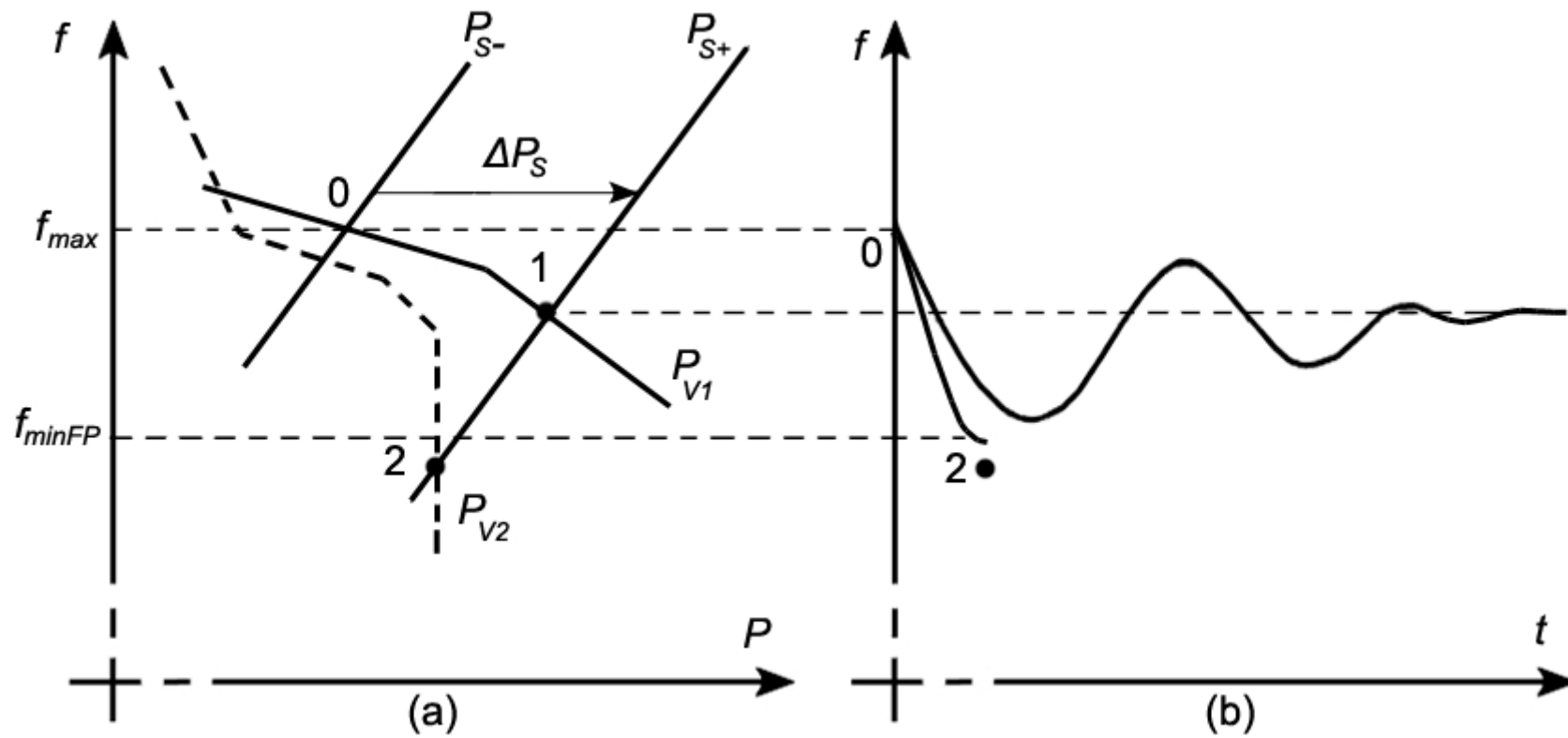
- $$J \frac{d\omega}{dt} + B.\omega = M_h - M_b$$

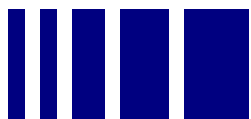
- kde je
- J – moment setrvačnosti roztočených hmot,
- B – součinitel tlumení,
- – úhlová rychlost,
- M<sub>h</sub> – hnací moment, který je úměrný výkonu turbín,
- M<sub>b</sub> – brzdny moment, který je úměrný zatížení ostrovní soustavy (výkonu spotřebičů).



## Ostrovní provoz

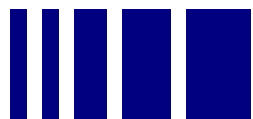
- Frekvenční kolaps
- Pokud se pracovní bod ES bude nacházet v blízkosti  $P_{max}$  (tj. bude nedostatek točivé rezervy), výkonová rovnováha se s velkou pravděpodobností neobnoví a nastane frekvenční kolaps. K tomu může dojít, jestliže některé bloky nedokážou přejít do ostrovního provozu. Tuto situaci ukazuje následující graf.
- Při vzniku deficitní ostrovní soustavy se zátěž zvětšila o  $\Delta PS$ , tj. přechodová charakteristika přešla z  $PS-$  na  $PS+$ ). V prvním případě, při dostatečné točivé rezervě, je nový ustálený stav v bodě 1 (průsečíku charakteristik  $PS-$  a  $PV1$ ). Frekvence ostrovní soustavy se ustálí.
- V případě výpadků bloků se statická charakteristika výroby změní z  $PV1$  na  $PV2$  a ustálený stav bude v bodě 2. Protože tento bod leží pod  $f_{minFP}$ , nemůže být dosaženo ustáleného stavu. Při této hodnotě se elektrárny působením ochran odpojí od sítě a nastává tzv. blackout.



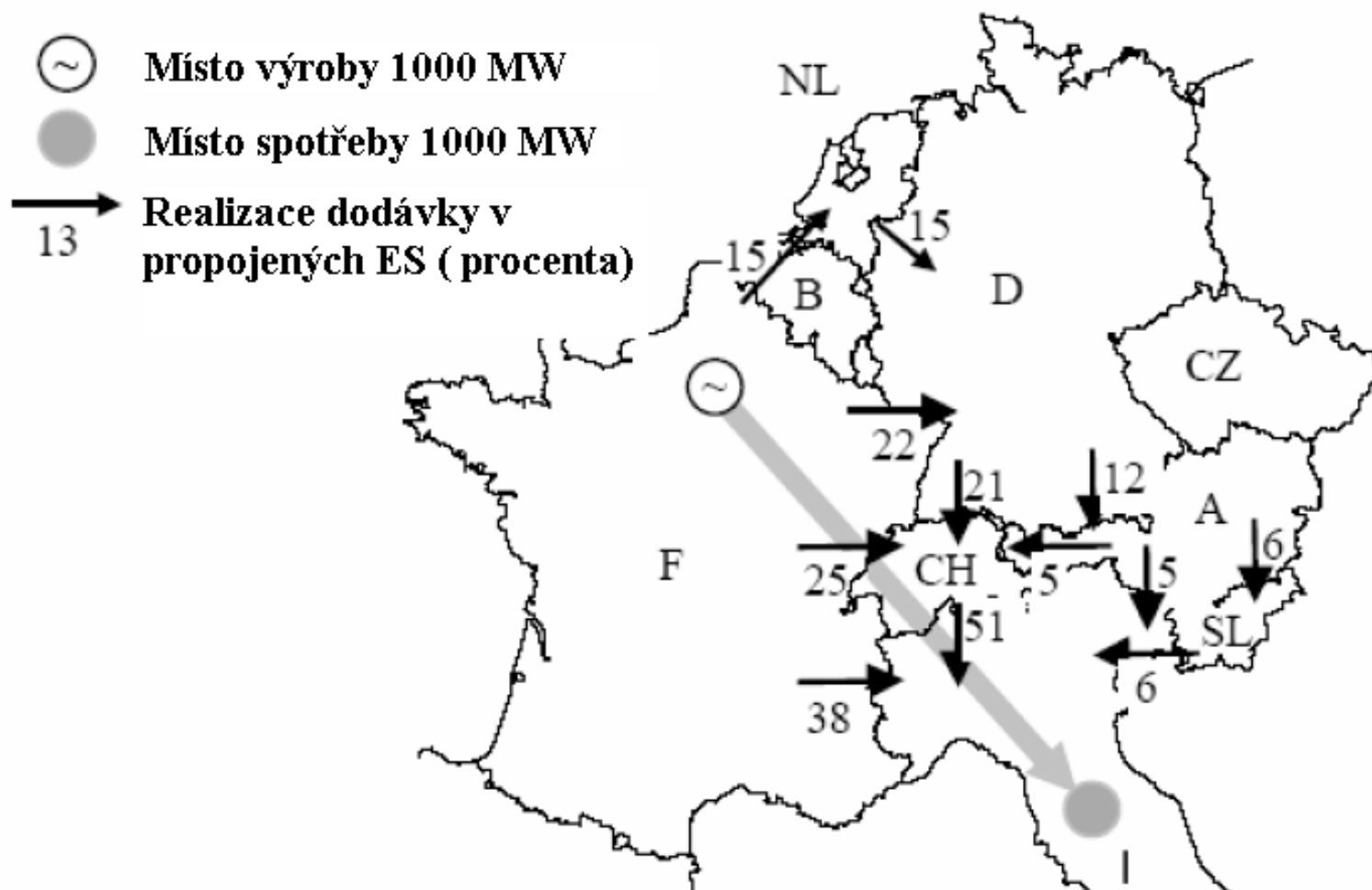


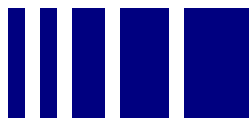
## Frekvenční plán

- Frekvenční plán je přílohou č.3 vyhlášky MPO č. 219/2001 Sb.
- Tento frekvenční plán je rozpracován dále do podrobnějších ustanovení v provozní instrukci ČEPS PI 620-6 „Frekvenční plán“
- Obsahem této PI jsou „ruční“ a automatické činnosti, které při vybočení kmitočtu od normálních hodnot mají za cíl
  - - zamezit pádu kmitočtu do hodnot kdy působí systémové automatické frekvenčního odlehčování (SAFO);
  - - klesá-li dále kmitočet tak působením SAFO a lokálním automatickým odlehčováním (LAFO) zamezit poklesu kmitočtu do nebezpečných hodnot pro energetická zařízení a udržet části ES v ostrovním provozu;
  - - nejsou-li předchozí opatření úspěšná, pak zajistit včasné odpojení elektráren do provozu na vlastní spotřebu a tím umožnit rychlou obnovu provozu ES.
- - zamezit vzrůstu kmitočtu do nebezpečných hodnot pro energetická zařízení a udržet části ES v ostrovním provozu
- - nejsou-li opatření úspěšná, pak zajistit včasné odpojení elektráren do provozu na vlastní spotřebu a tím umožnit rychlou obnovu provozu ES

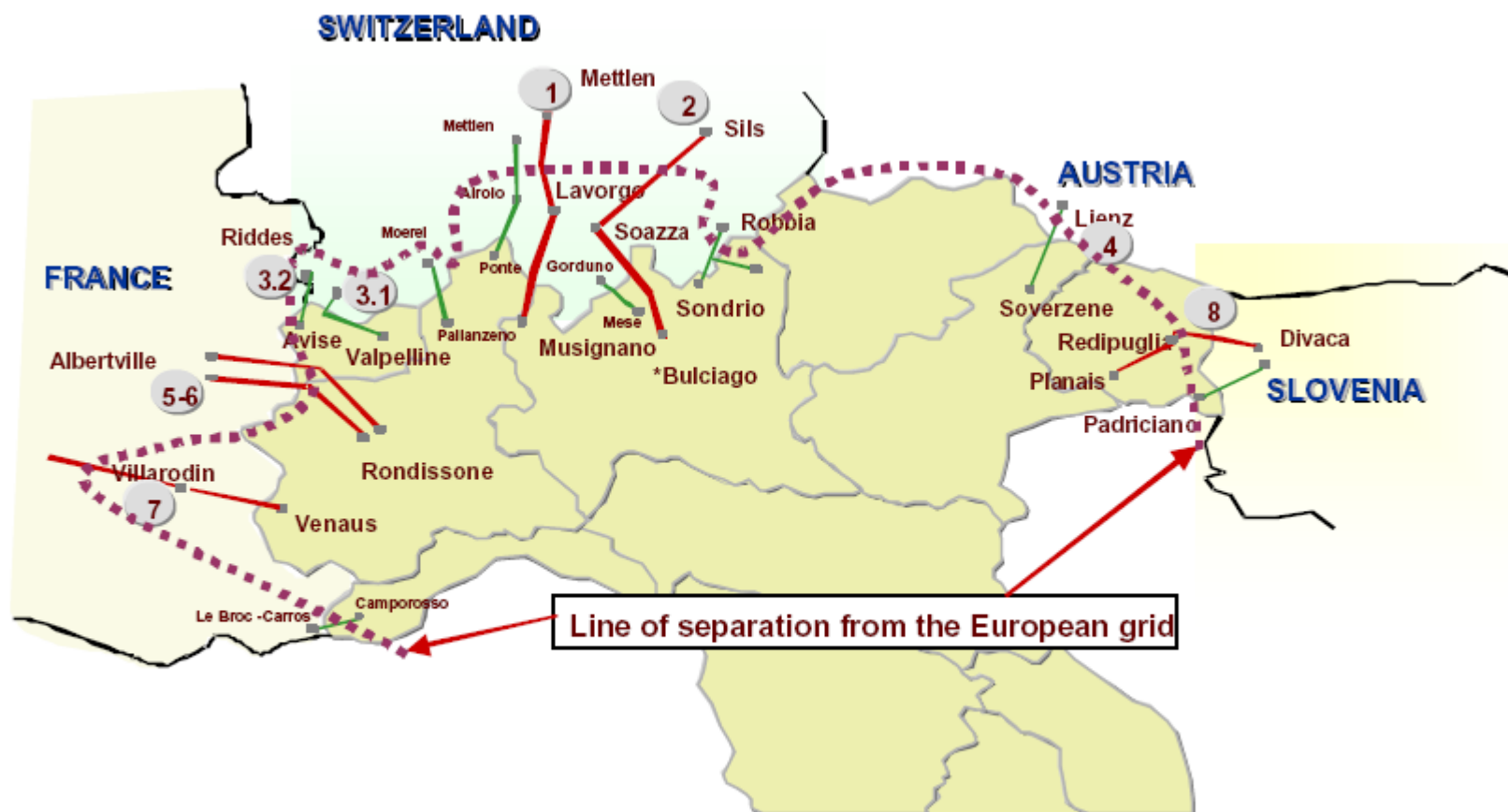


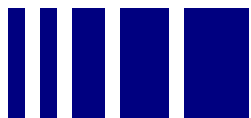
## Black out Italie



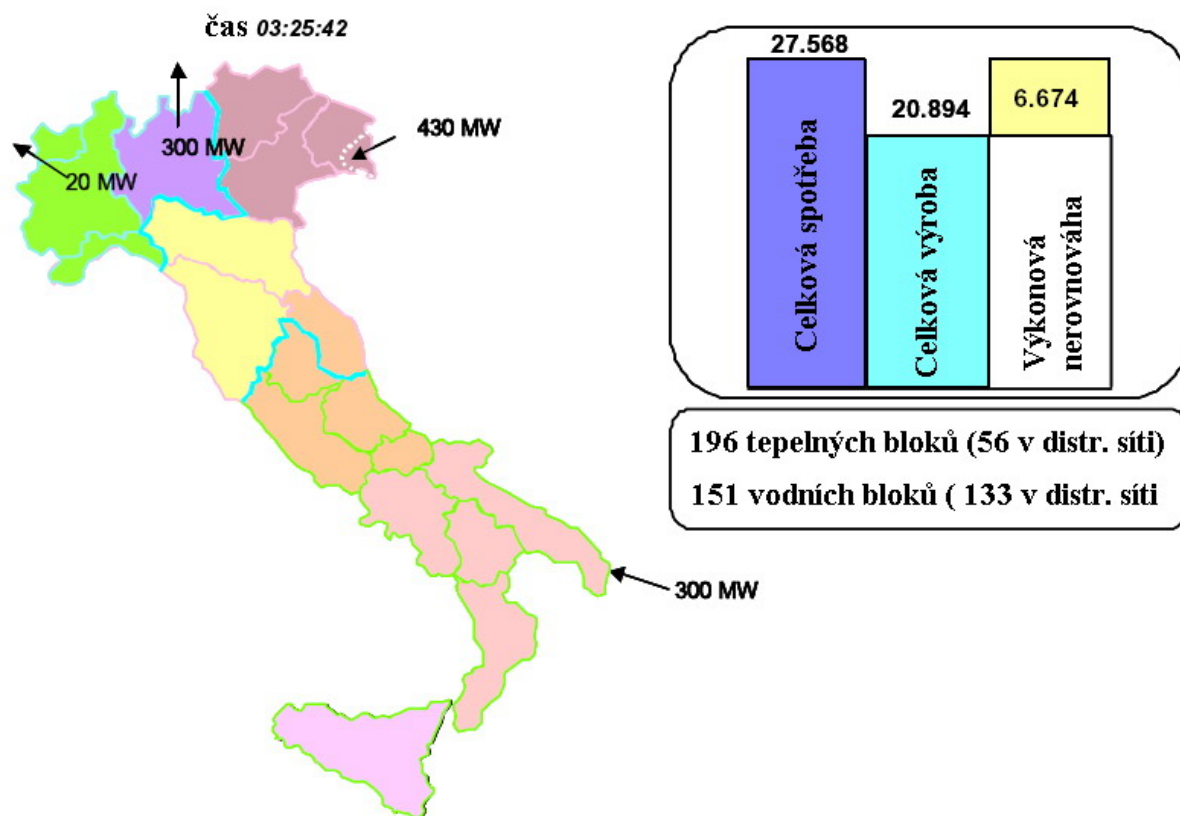


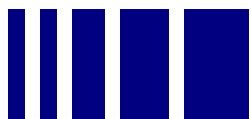
## Black out Italie



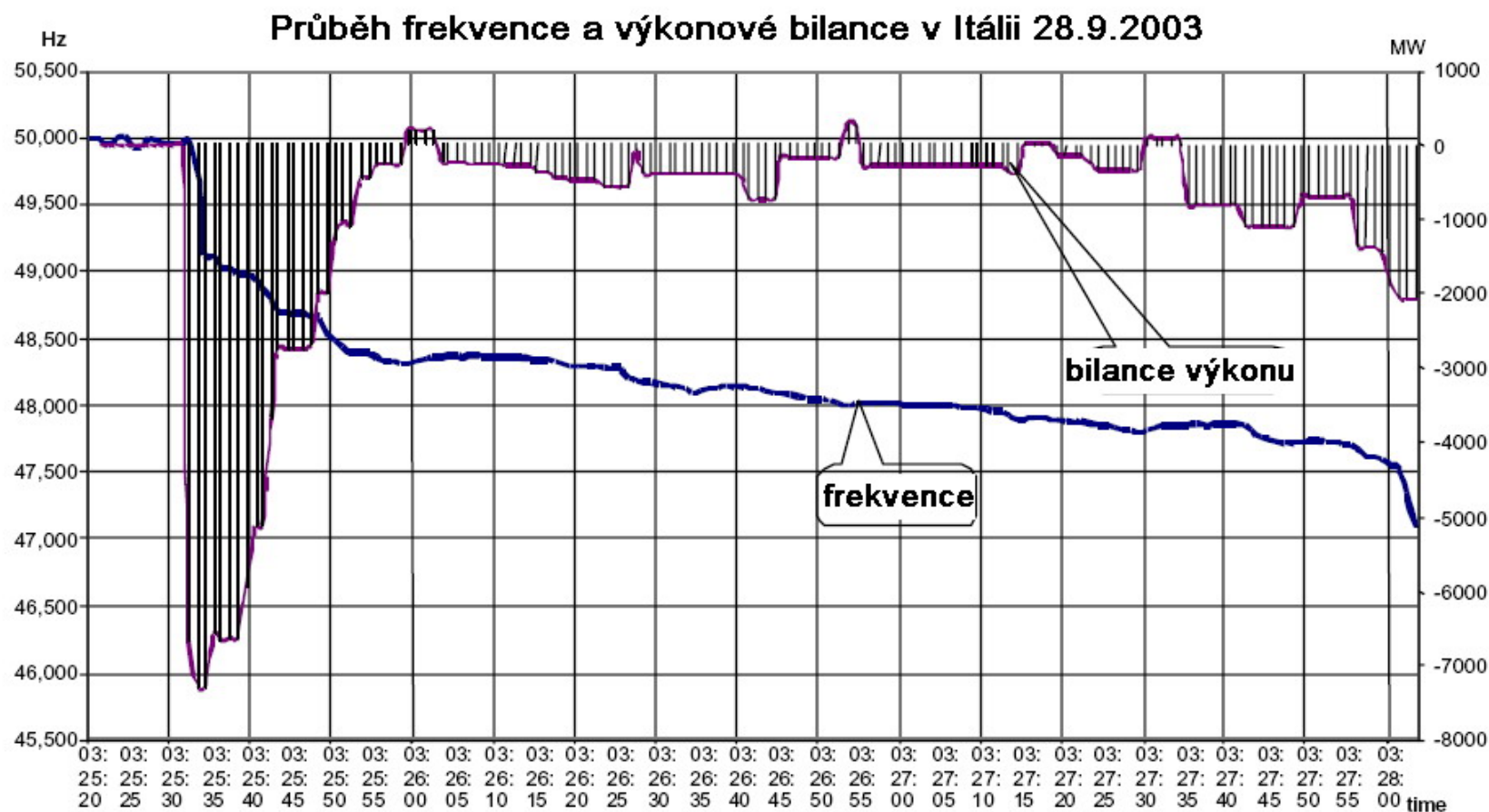


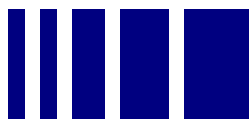
## Black out Italie



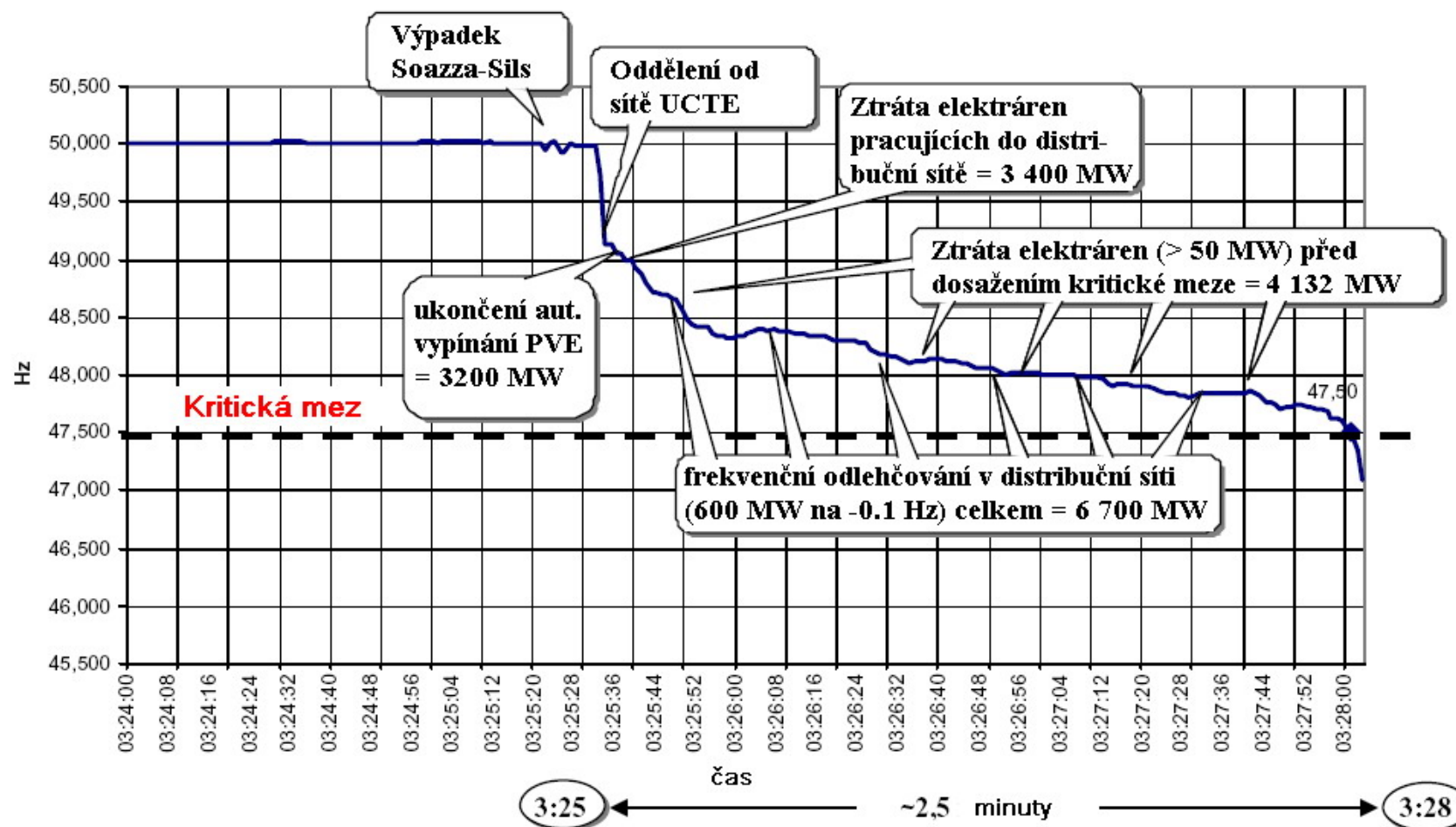


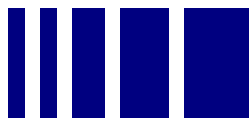
## Black out Italie



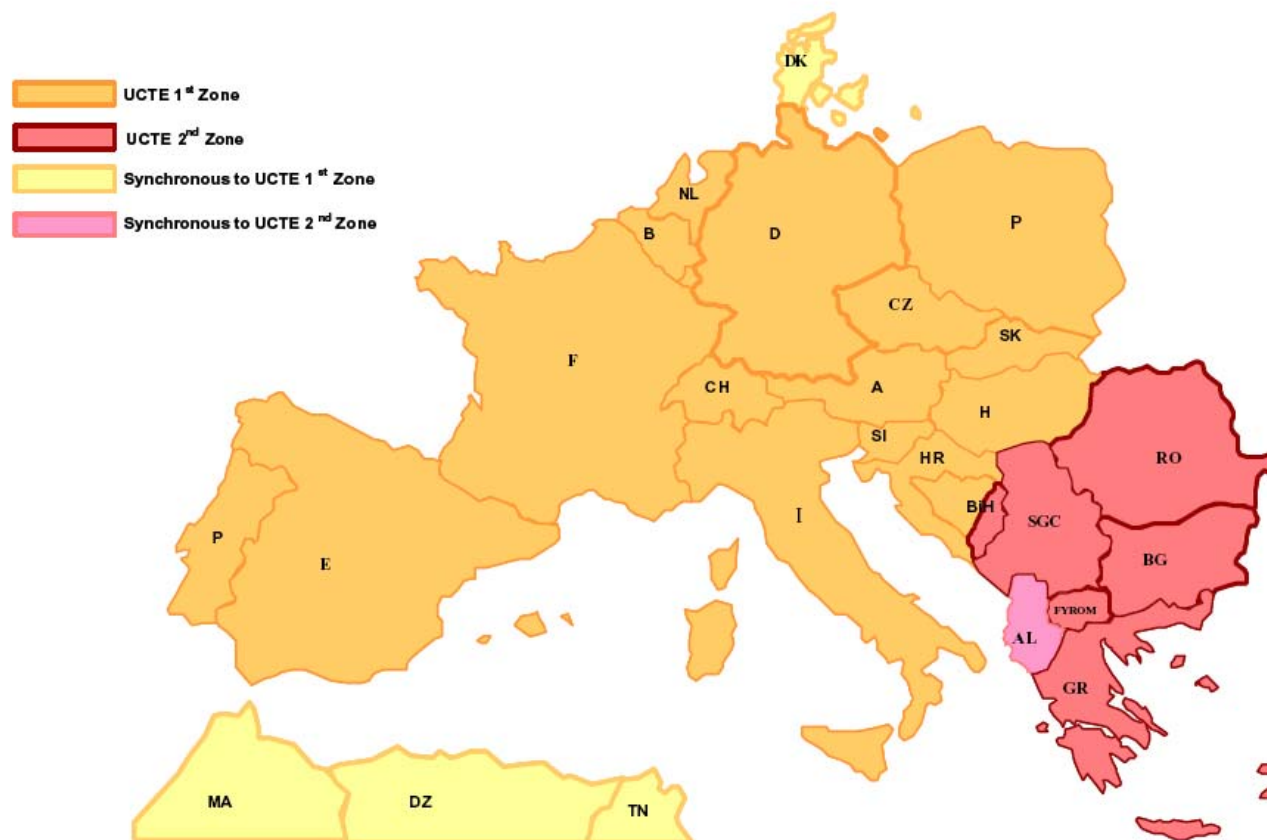


## Black out Italie

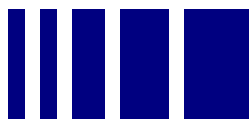




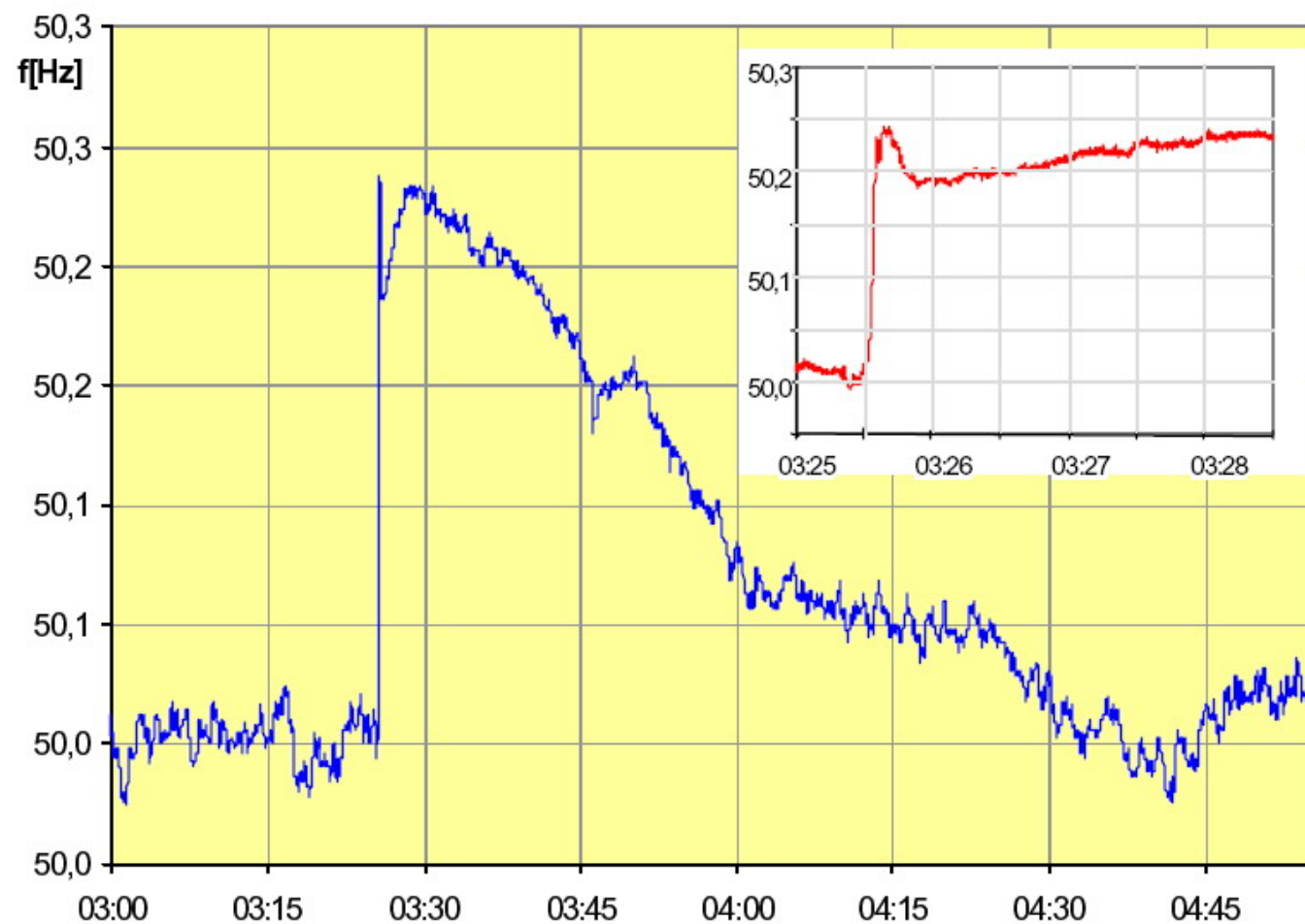
## Black out Italie

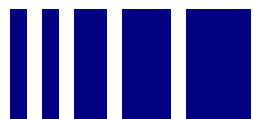


**Fig 4.1: First and second synchronous zones of UCTE**

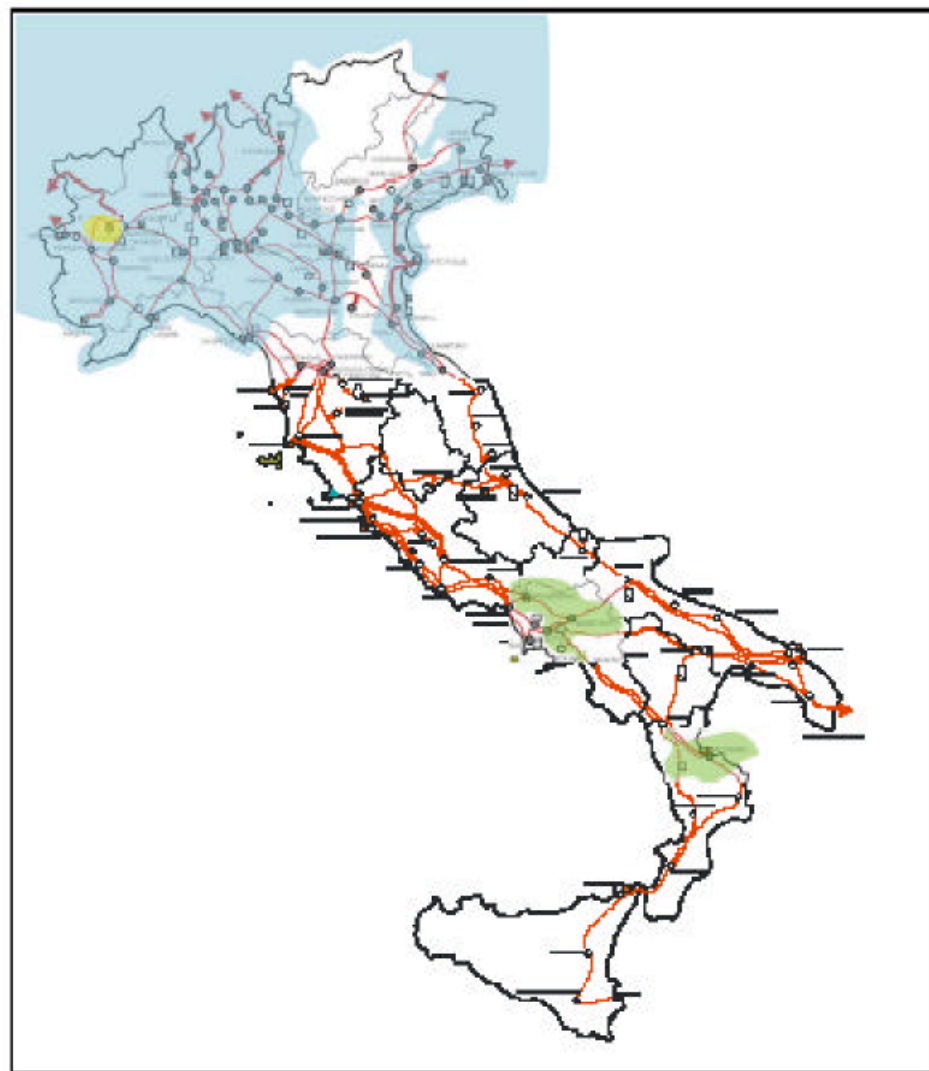


## Black out Italie





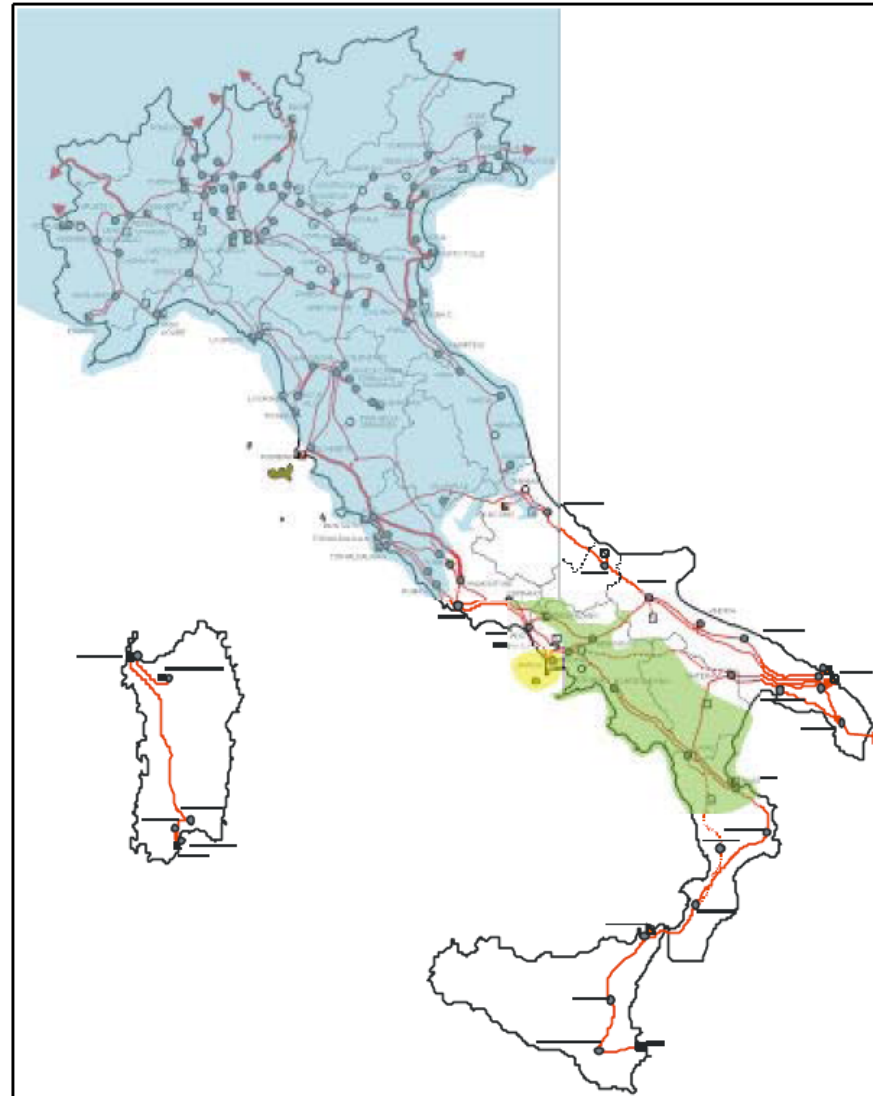
## Black out Italie



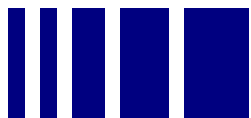
**Figure 2.8: End of Stage 1**



## Black out Italie

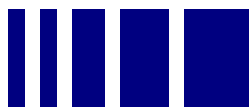


**Figure 2.9: End of Stage 2**



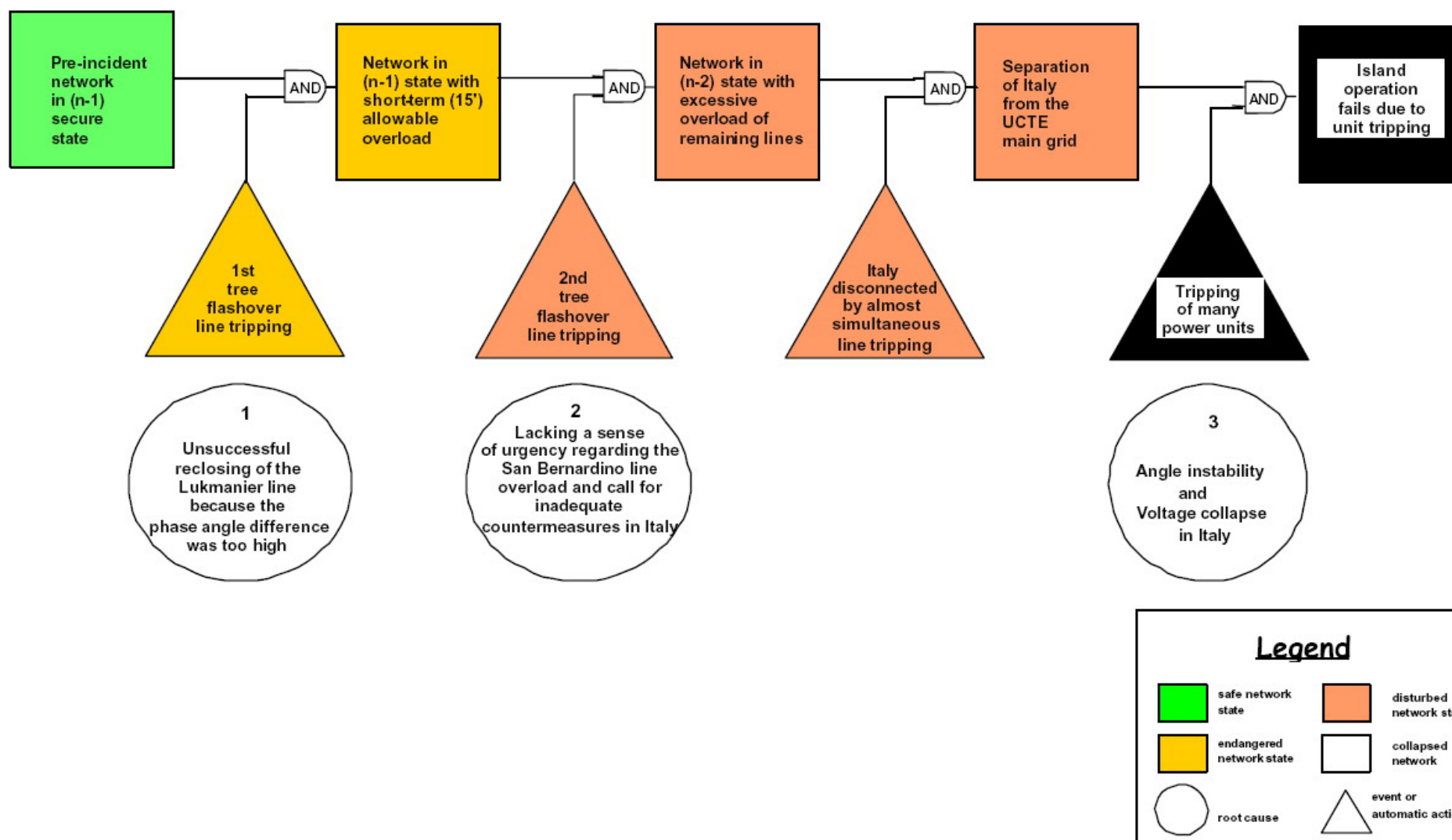
## Black out Italie

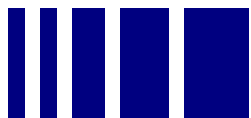




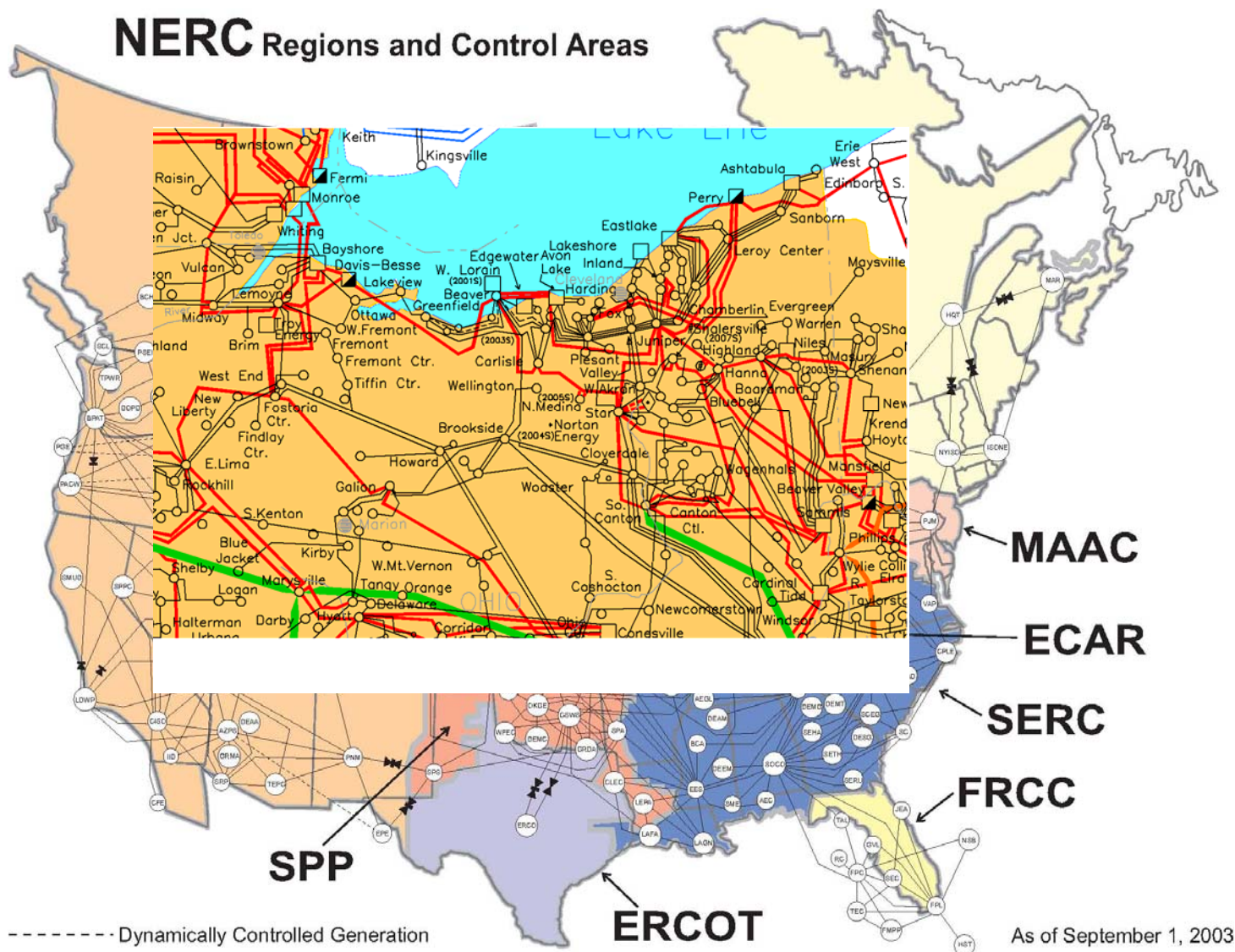
## Black out Italie

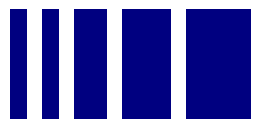
### Network state overview & root causes



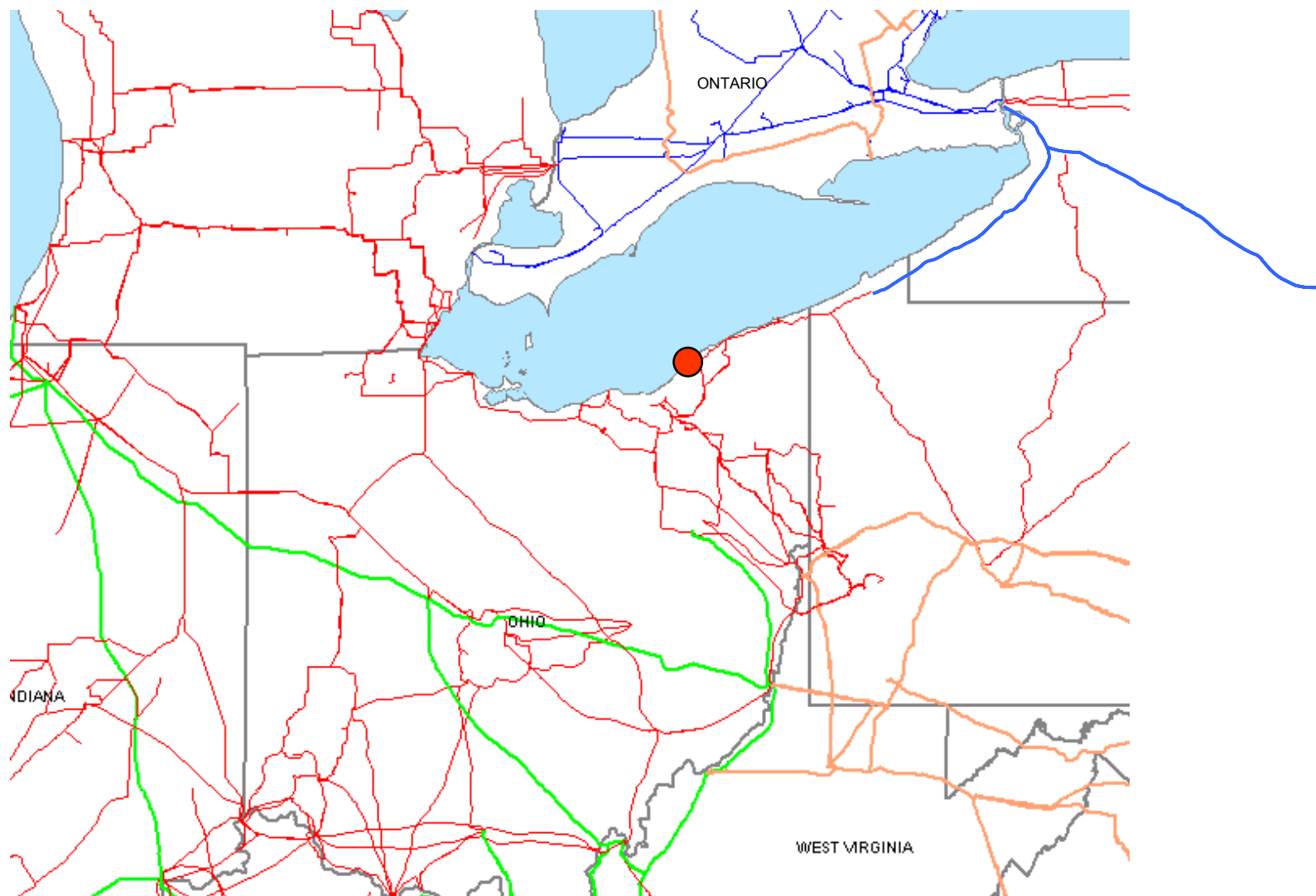


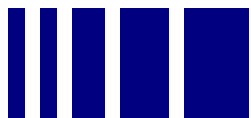
# NERC Control Areas





## East Lake 5 Trip: 1:31:34 PM





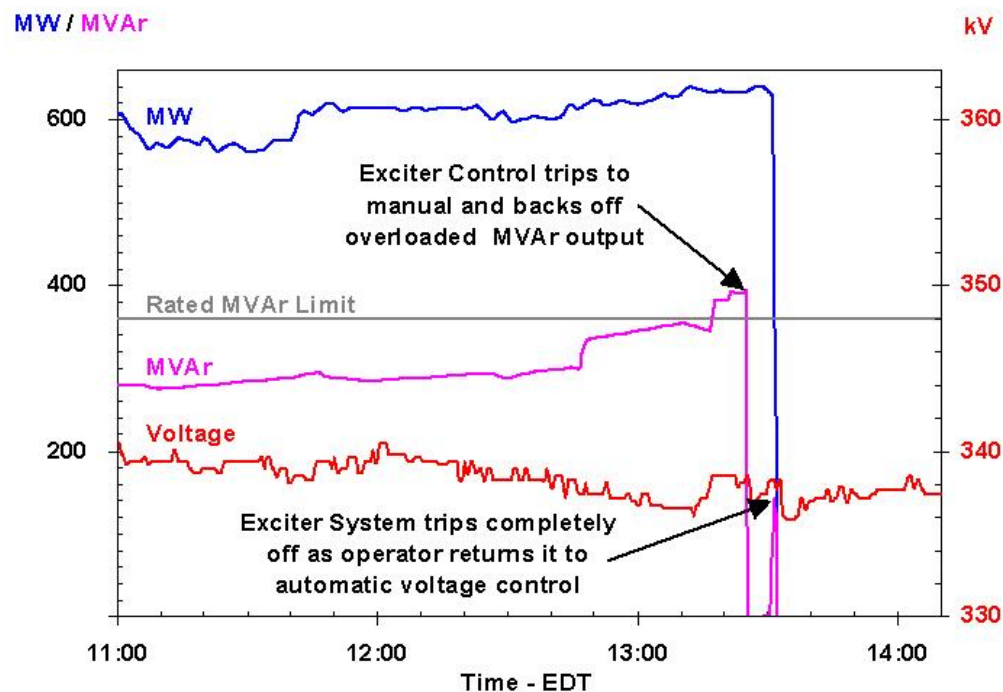
## East Lake 5 Exciter Failure Causes Trip 13:30

Throughout the morning, the EMS operators were calling the FE plant operators to request an increase in reactive power. A significant conversation took place between the FE EMS (system control center) operator and the East Lake Unit 5 operator at approximately 1316 on August 14.

EMS Operator: Hey, do you think you could help out the 345 voltage a little.

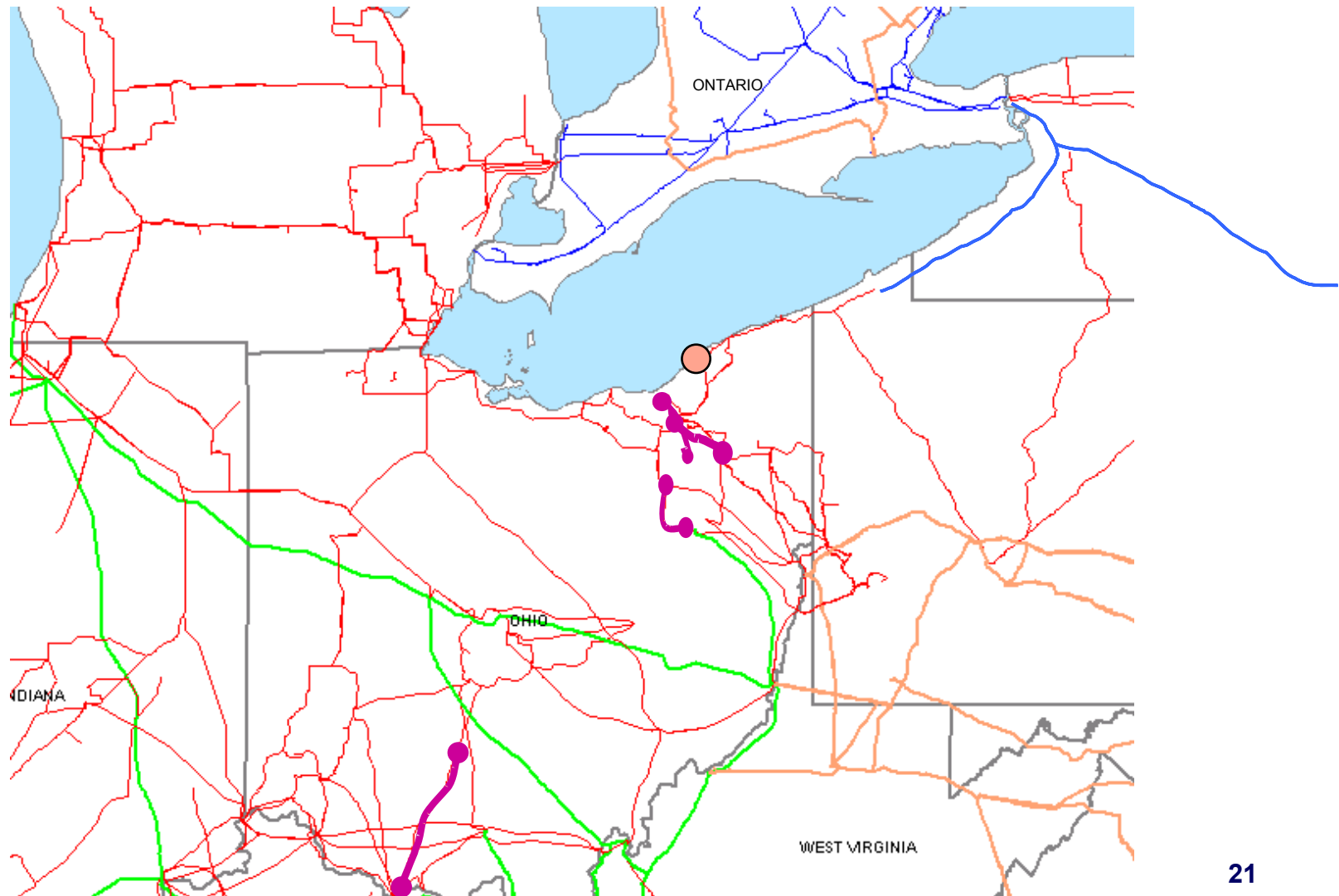
East Lake 5 Operator: Buddy, I am -- yeah, I'll push it to my max max. You're only going to get a little bit.

EMS Operator: That's okay, that's all I can ask.<sup>3</sup>





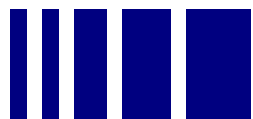
## Situation after Initial Trips 15:05 – 15:41



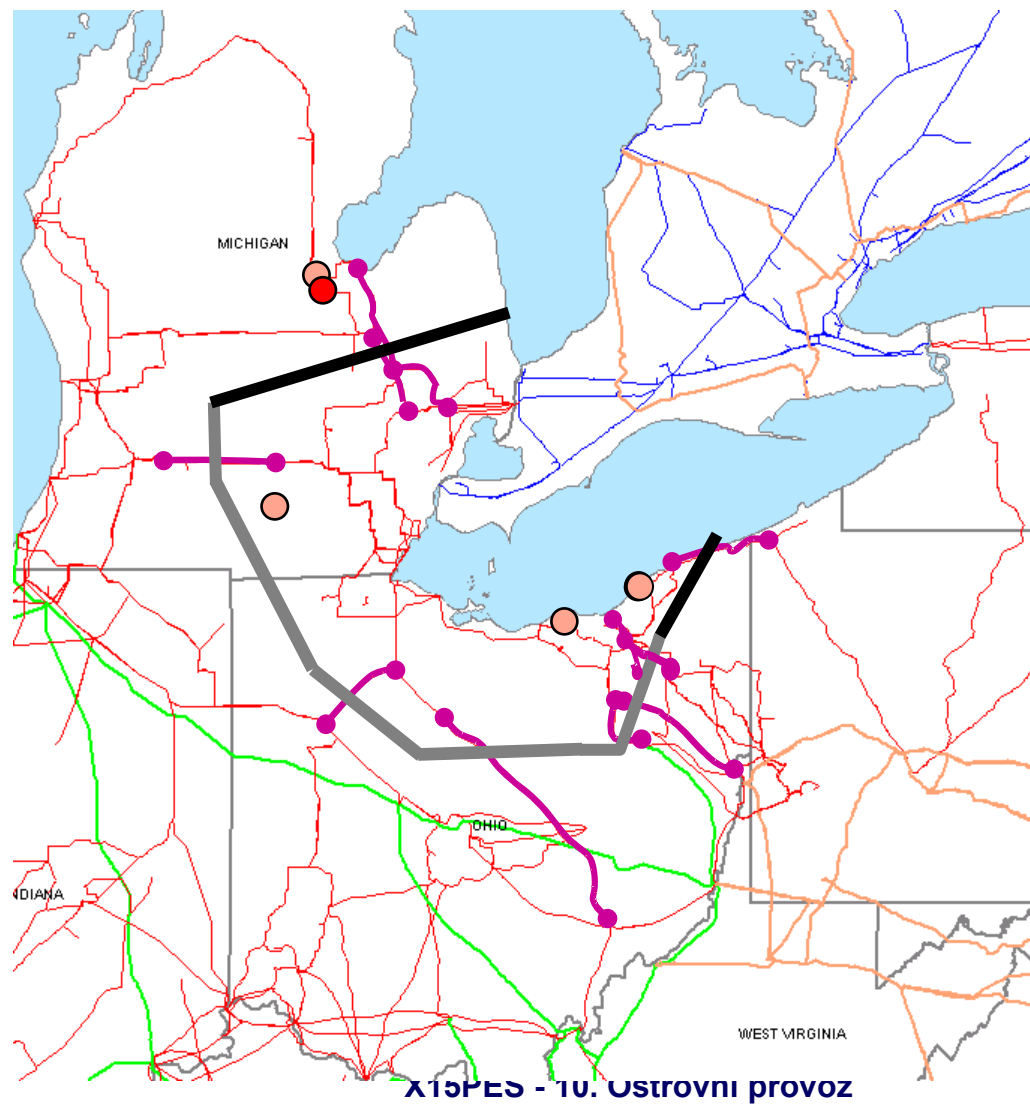


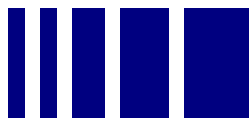
## Phone Calls FirstEnergy

- 15:42 FE's western transmission operator informed FE's computer support staff that the EMS system functionality was compromised. **"Nothing seems to be updating on the computers.... We've had people calling and reporting trips and nothing seems to be updating in the event summary... I think we've got something seriously sick."** This is the first evidence that a member of FE's control room operating staff recognized that their EMS system was not functioning properly. There is no indication that this operator informed any of the other operators at this time. However, the FE computer support staff discussed the subsequent EMS alarm corrective action with some control room operators shortly thereafter.
- 15:42 The Perry plant operator called back with more evidence of problems. **"I'm still getting a lot of voltage spikes and swings on the generator.... I don't know how much longer we're going to survive."**
- 15:45 A tree trimming crew reported that they had witnessed a tree-caused fault on the Eastlake-Juniper 345 kV line. However, the actual fault was on the Hanna-Juniper 345 kV line in the same vicinity. This information added to the confusion in the FE control room, because the operator had indication of flow on the Eastlake-Juniper line.  
AEP called after the Star-South Canton 345 kV line tripped a third time and locked out at 1542 to discuss and inform them that they had additional lines that were showing overloads. FE operators recognized then that the Star breakers had tripped and remained open.
- 15:46 The Perry plant operator called the FE control room a **third time** to say that the unit was close to tripping off: **"It's not looking good.... We ain't going to be here much longer and you're going to have a bigger problem."**

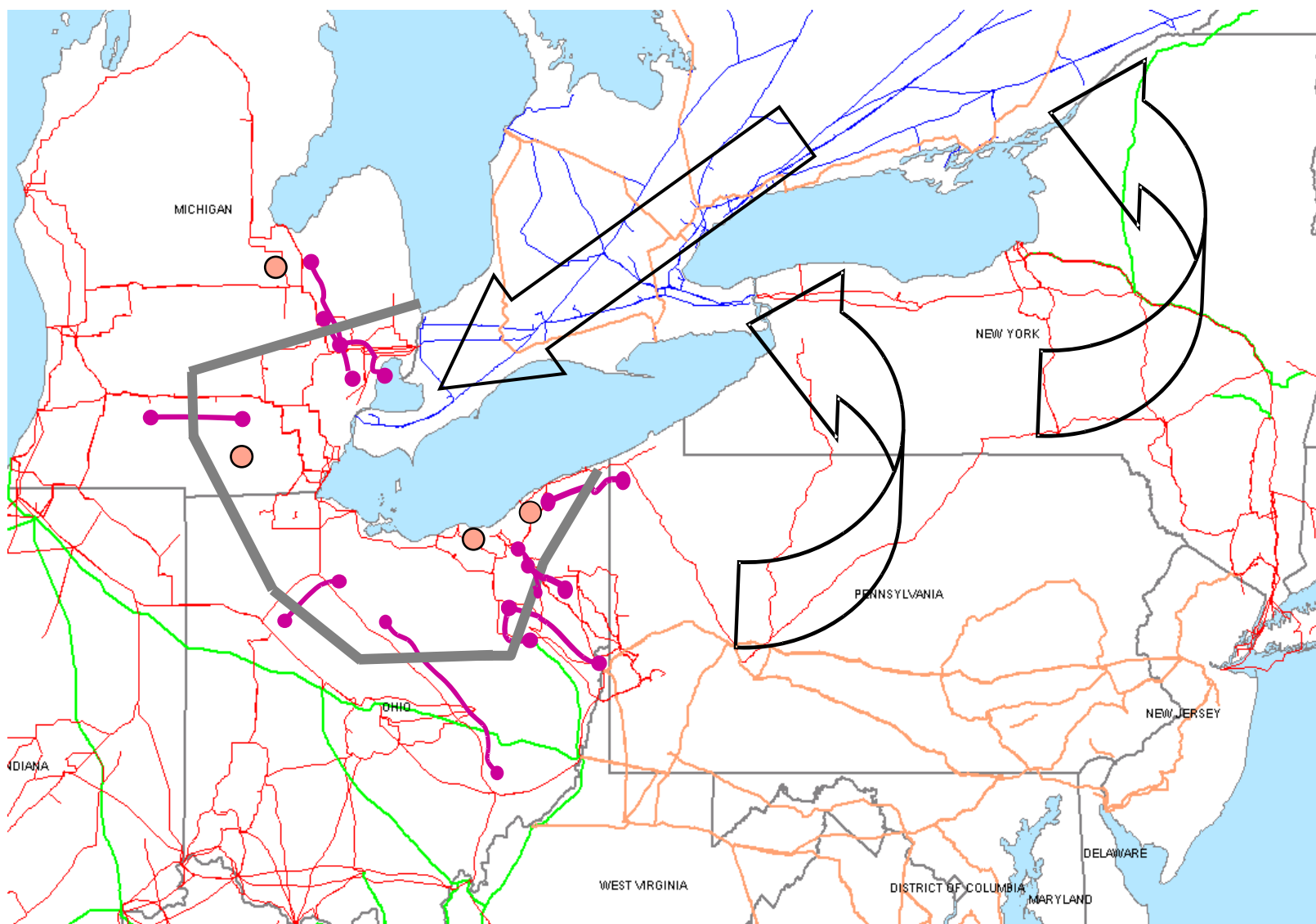


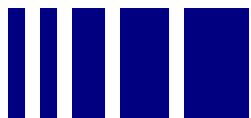
## Northern Ohio and Eastern Michigan Served Only from Ontario after 16:10:37.5 – 16:10:38.6



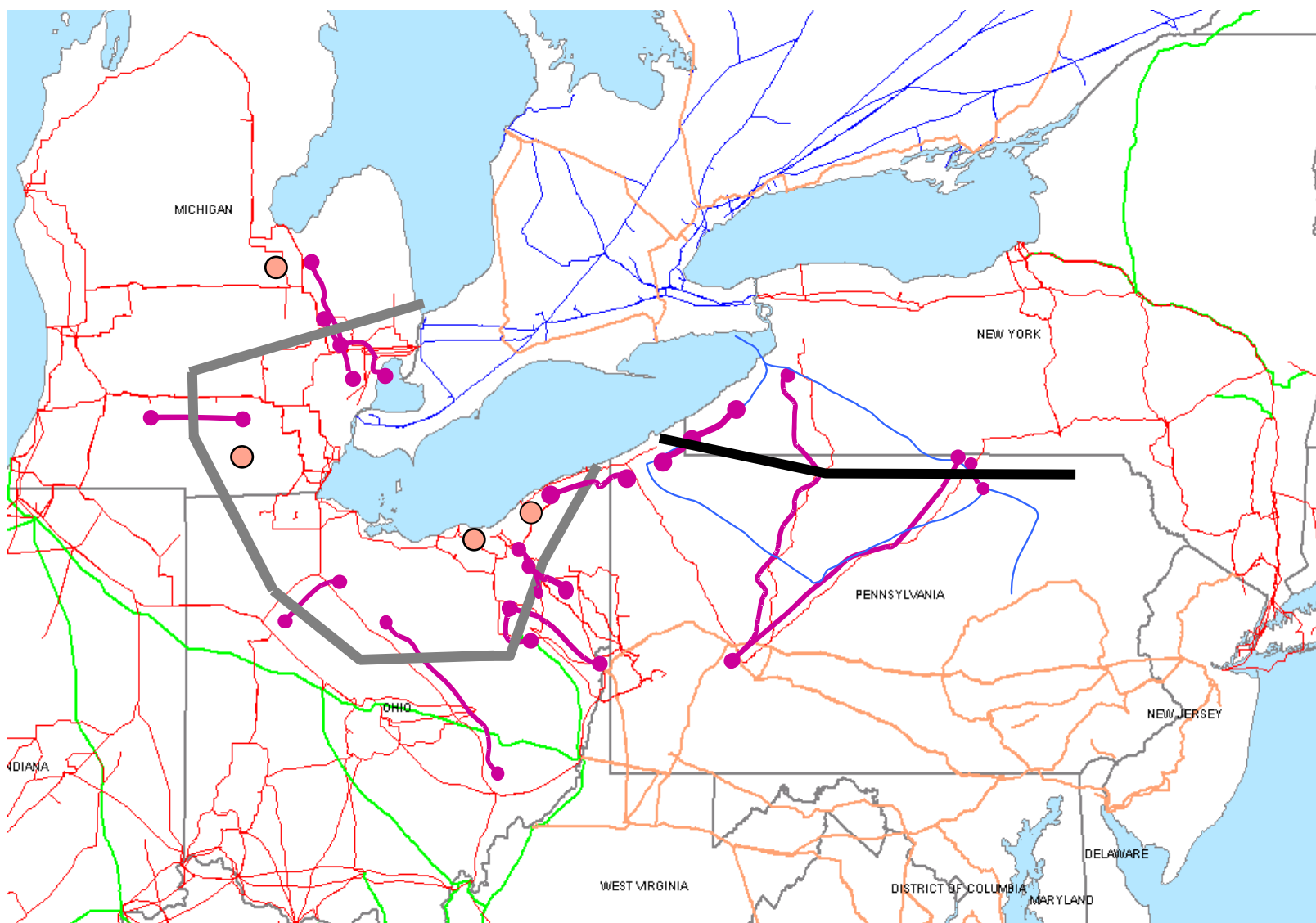


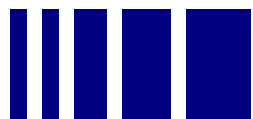
## Power Transfers Shift at 16:10:38.6





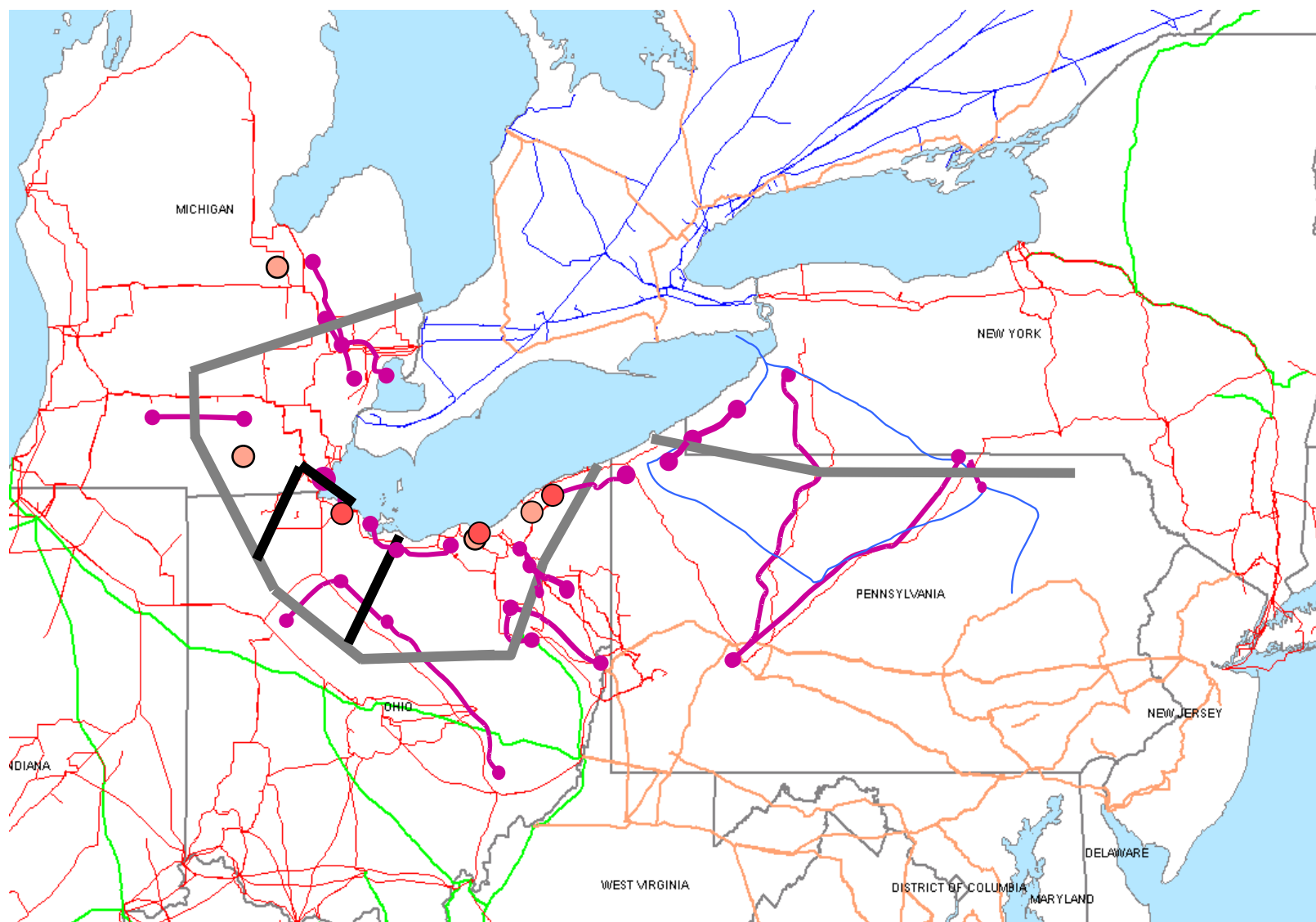
## PJM – NY Separating 16:10:44

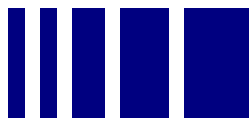




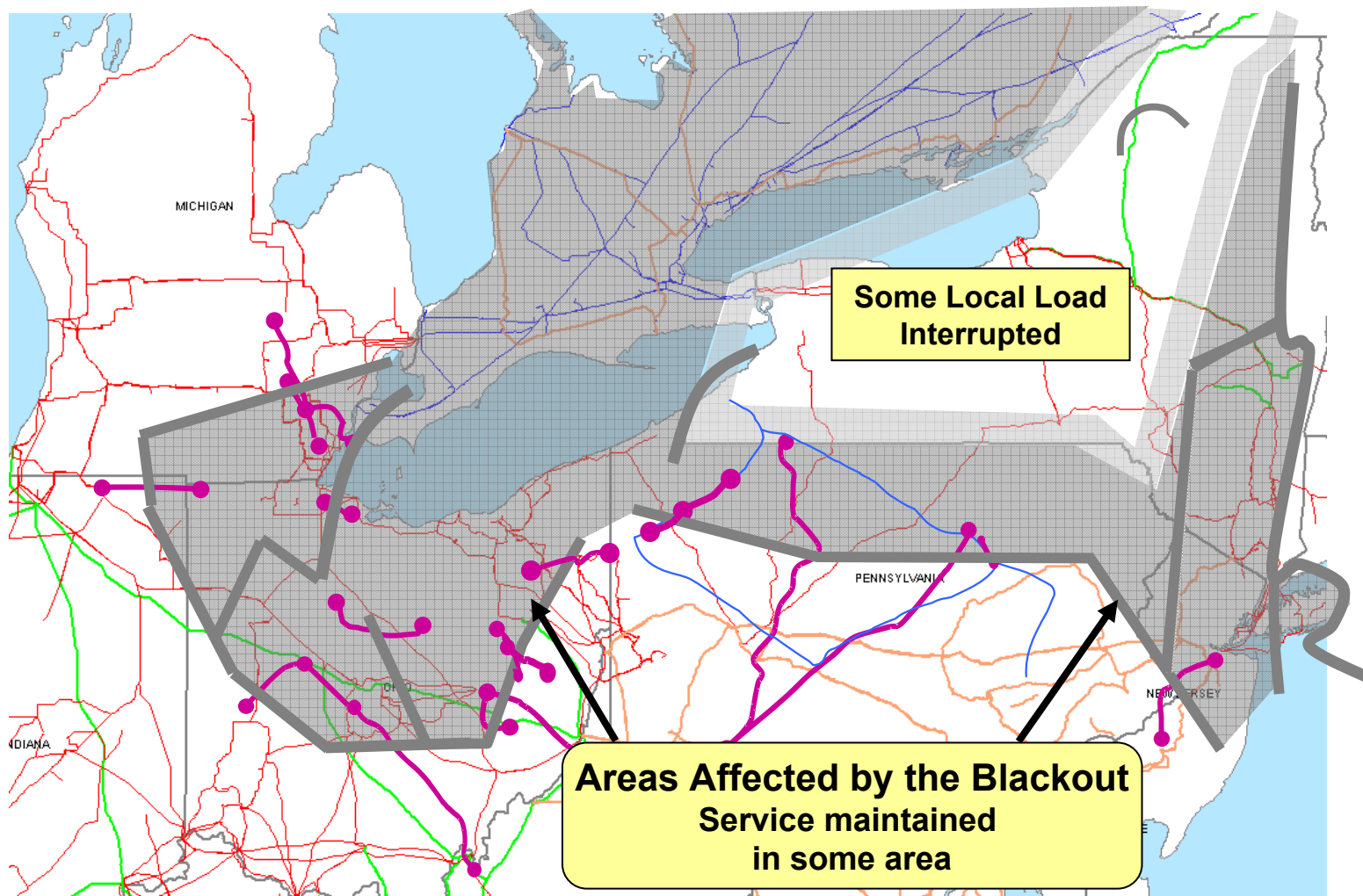
## Cleveland – Toledo Island 16:10:39 - 16:10:46

### Cleveland Blacks Out

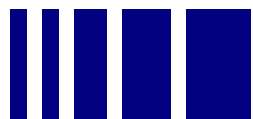




## End of the Cascade

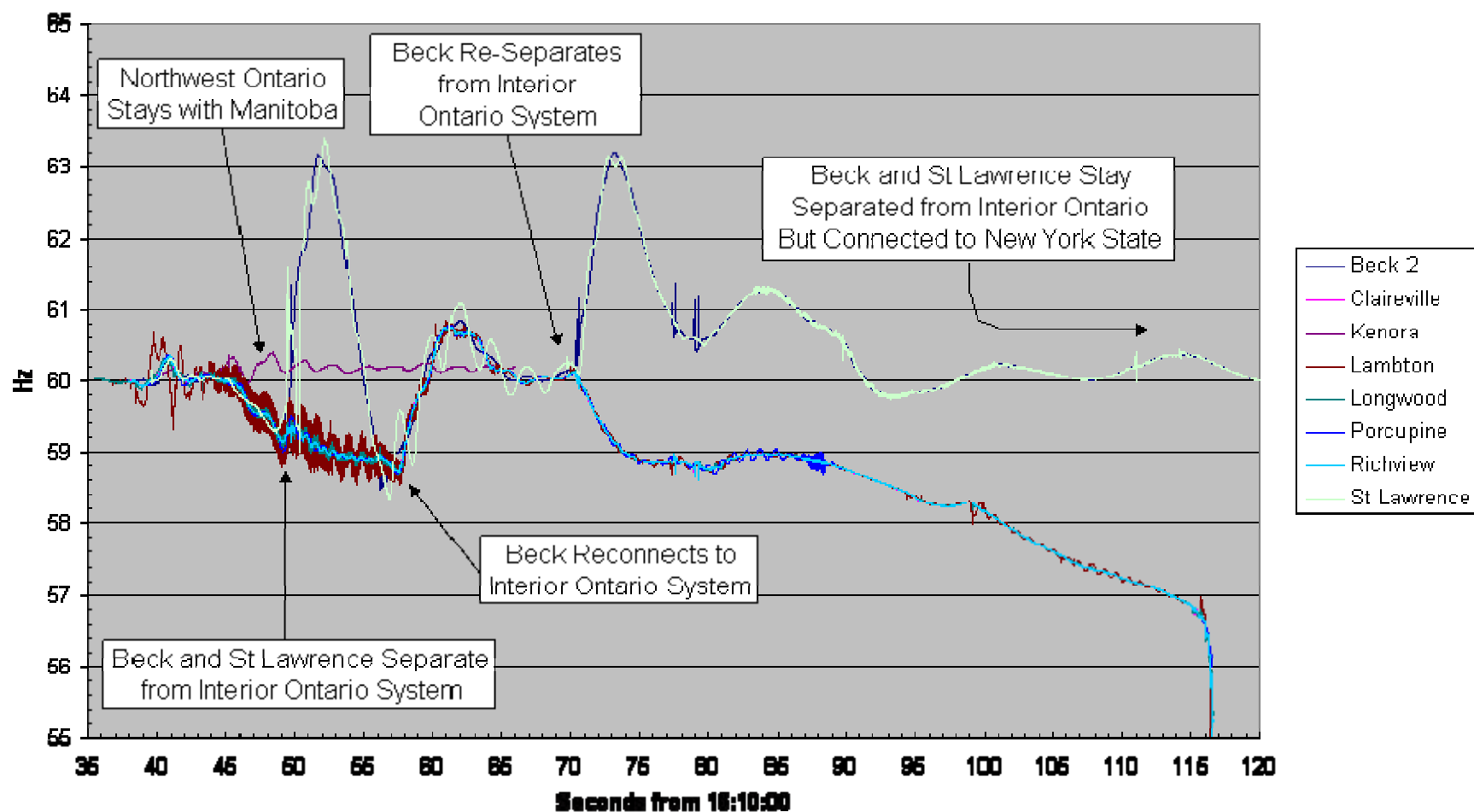






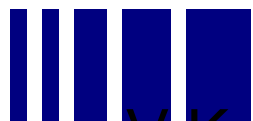
## Frequency in Ontario and New York during Breakup Niagara Generation Stays with Western NY

### Frequency Separation Interior Ontario and Northern New York





## Nouzový stav přenosové soustavy 25.7.2006



## Spolehlivost provozu

- V Kodexu Přenosové soustavy je zakotveno základní pravidlo spolehlivého provozování,  
  
tak zvané **kritérium N-1**.
- Znamená, že provoz i rozvoj soustavy je plánován a kontrolován na stav výpadku jednoho jejího prvku nesmí dojít k přetížení či výpadku prvku druhého.
- Toto kritérium je závazným standardem v rámci propojené evropské sítě (UCTE).
- Od tohoto principu jsou odvozeny i náklady na provozování PS.
- Může dojít ke krátkodobému lokálnímu omezení výroby nebo spotřeby řešitelnému v rámci distribučních soustav.



Jak extrémní teploty ovlivňují provoz soustav.

- **Nároky na klimatizaci zvyšují spotřebu.**
- **Provozní problémy výrobců el. energie.**
- **Zvýšené namáhání přenosových systémů.**
- **Minimální výroba ve větrných elektrárnách.**



## Situace v evropské síti

### **Francie**

- nárůst spotřeby při vyšší průměrné teplotě
- snížení exportů na minimum.

### **Španělsko**

- spotřeba opakovaně dosahuje rekordní úrovně
- častá přetížení přenosových linek

### **Itálie**

- rezervy pro bezpečné provozování soustavy se zmenšují – výpadky důležitých hraničních vedení.

### **Švýcarsko**

- mimořádný export (až 4500 MW) do soustav UCTE - vysoká výroba ve vodních elektrárnách.

### **Polsko**

- zvýšení zatížení a problémy parních elektráren. Nedostatek výkonu a rušení exportů až 1000MW.

### **Německo**

- nízká výroba ve větrných elektrárnách. Deficit až 4500 MW.

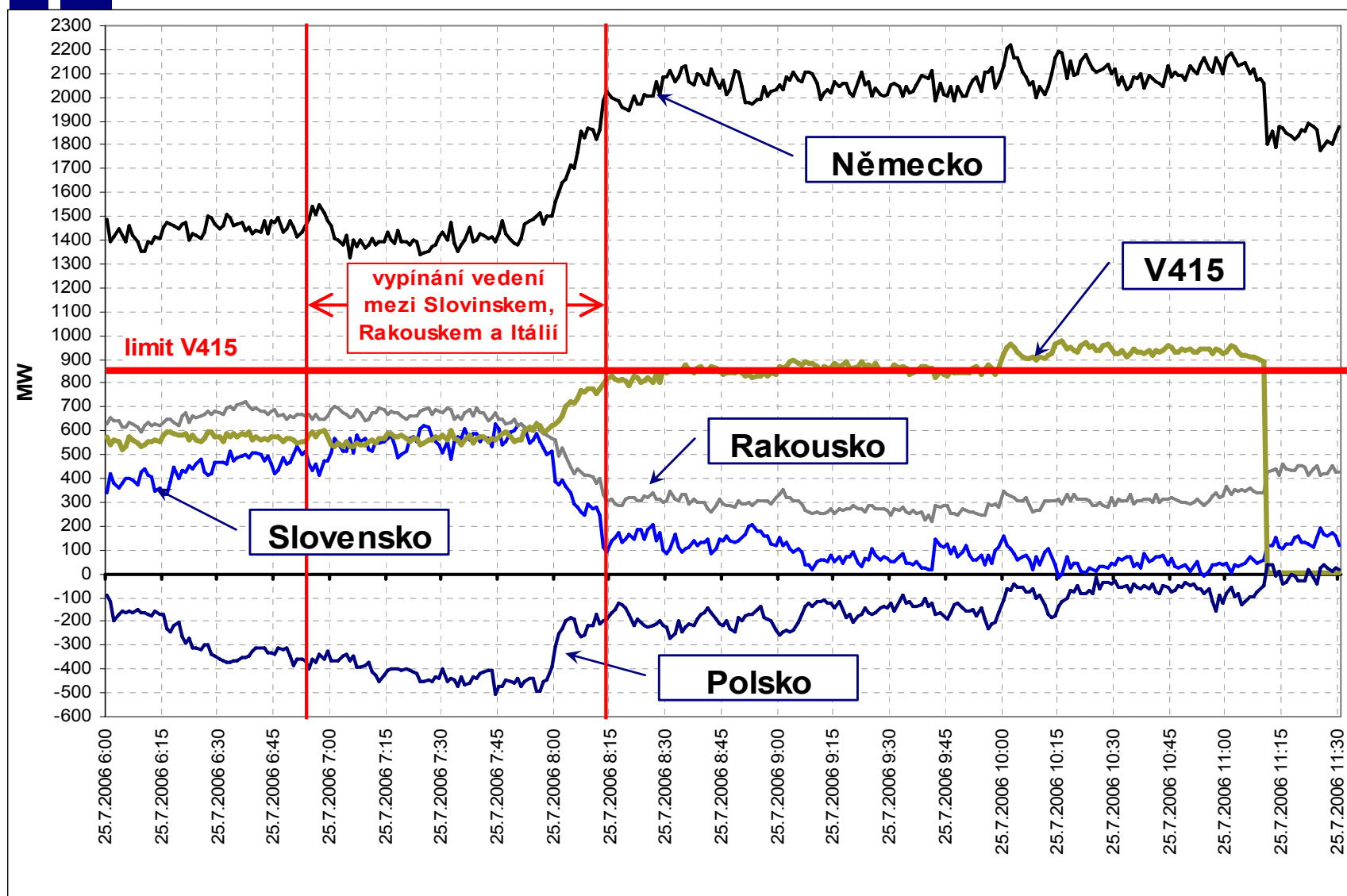


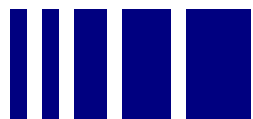
## Vliv poruchy ve Slovinsku

- Podle sdělení provozovatele PS Slovinska (ELES) z 27.7. bylo vzhledem k požáru v okolí rozvodny Divača dne 25.7. nutné postupně odpojit obě mezinárodní vedení do Itálie a to v:
  - 6:53 vedení 400 kV – Divača - Redipuglia
  - 8:13 vedení 220 kV – Divača – Padriciano
- Souběžné vedení z Rakouska bylo vypnuto pro přetížení
  - 8:14 vedení 220 kV – Lienz – Soverzene

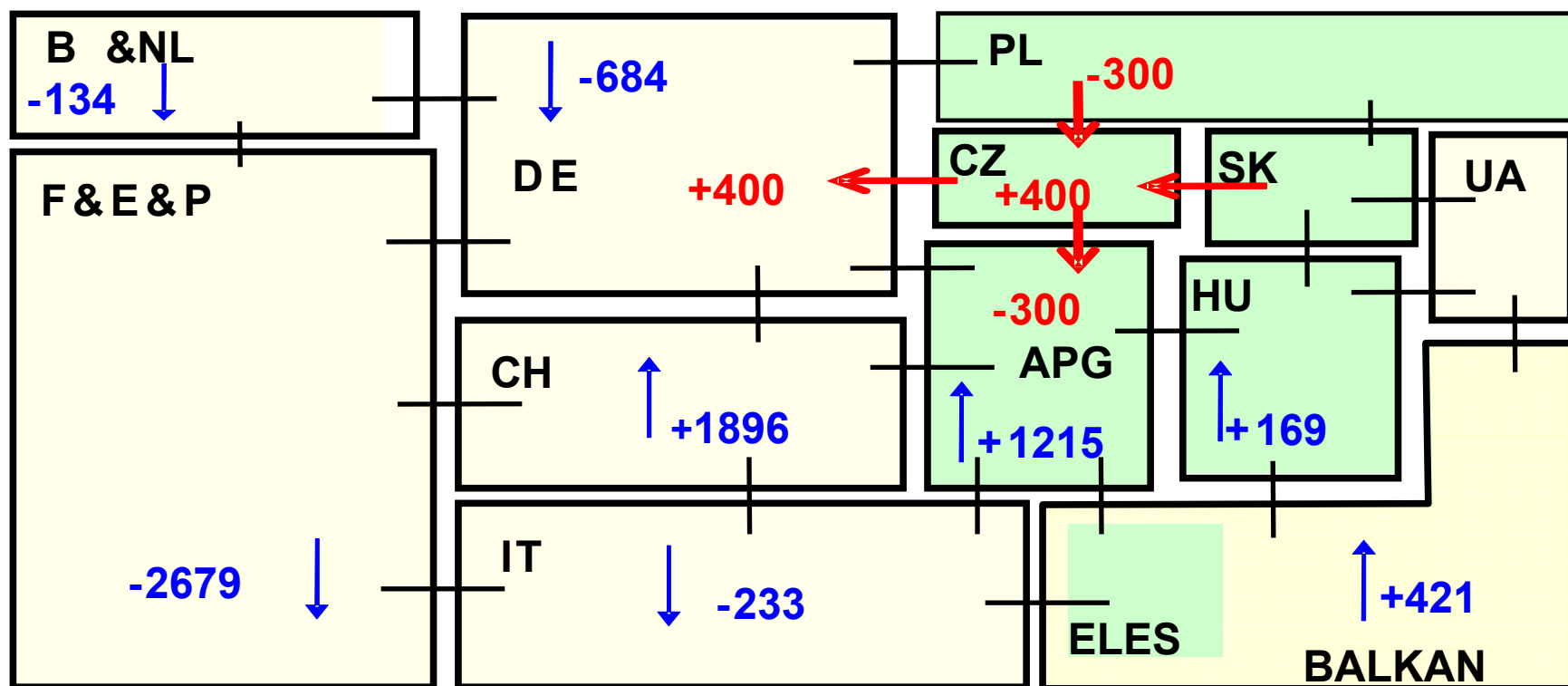
Tato vypnutí způsobila neočekávané změny toků ve všech propojených soustavách.

## Souvislost přeshraničních toků a zatížení V415





## Změna sald (modře) a odpovídající změny toků výkonů (červeně) v Evropě mezi 8. a 9.obchodní hodinou

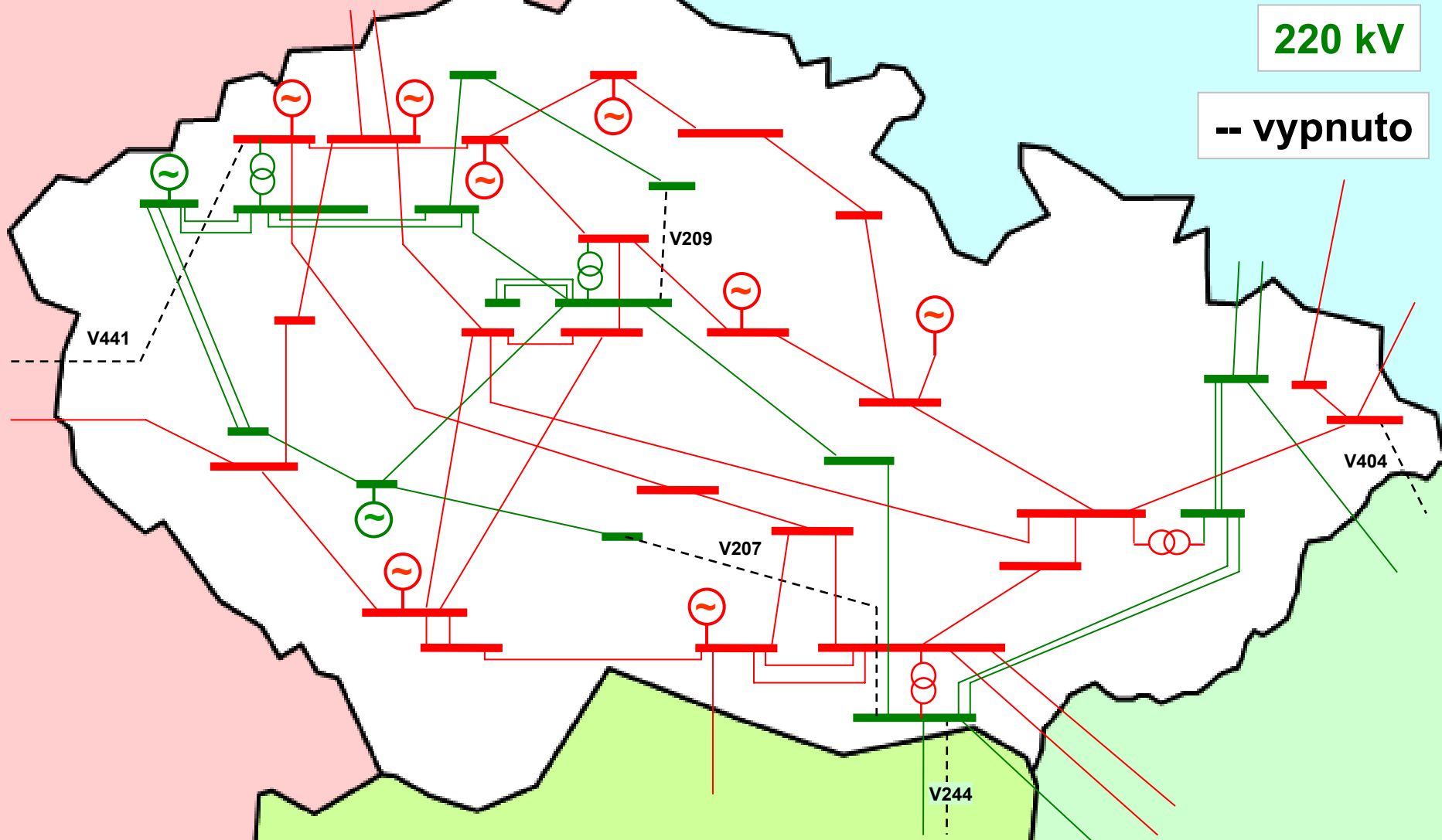


## Výchozí stav

400 kV

220 kV

-- vypnuto



## Sled událostí

### Neplatí N-1

10:00 - přetěžování V415

11:12 - vypnutí V415

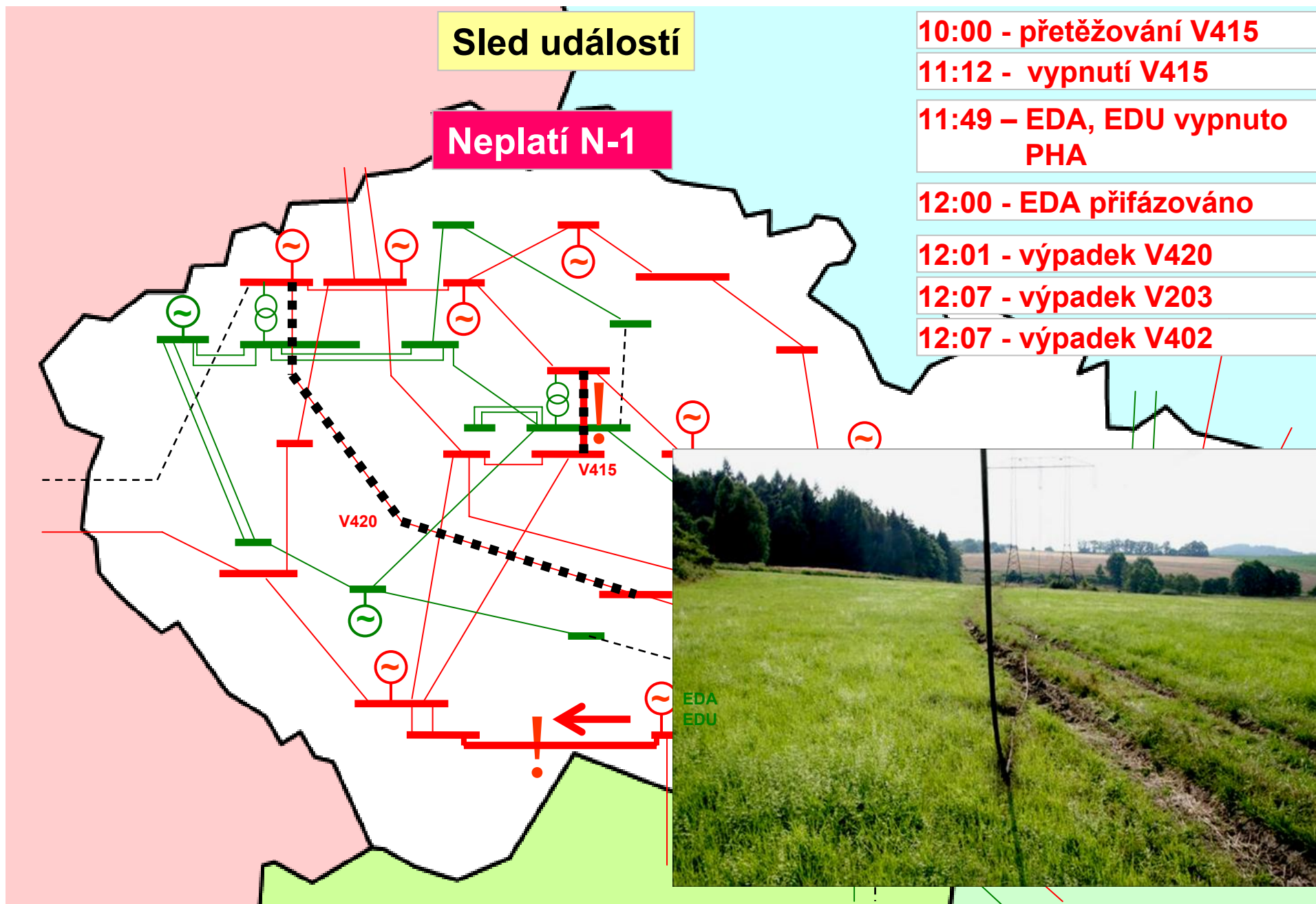
11:49 – EDA, EDU vypnuto  
PHA

12:00 - EDA přifázováno

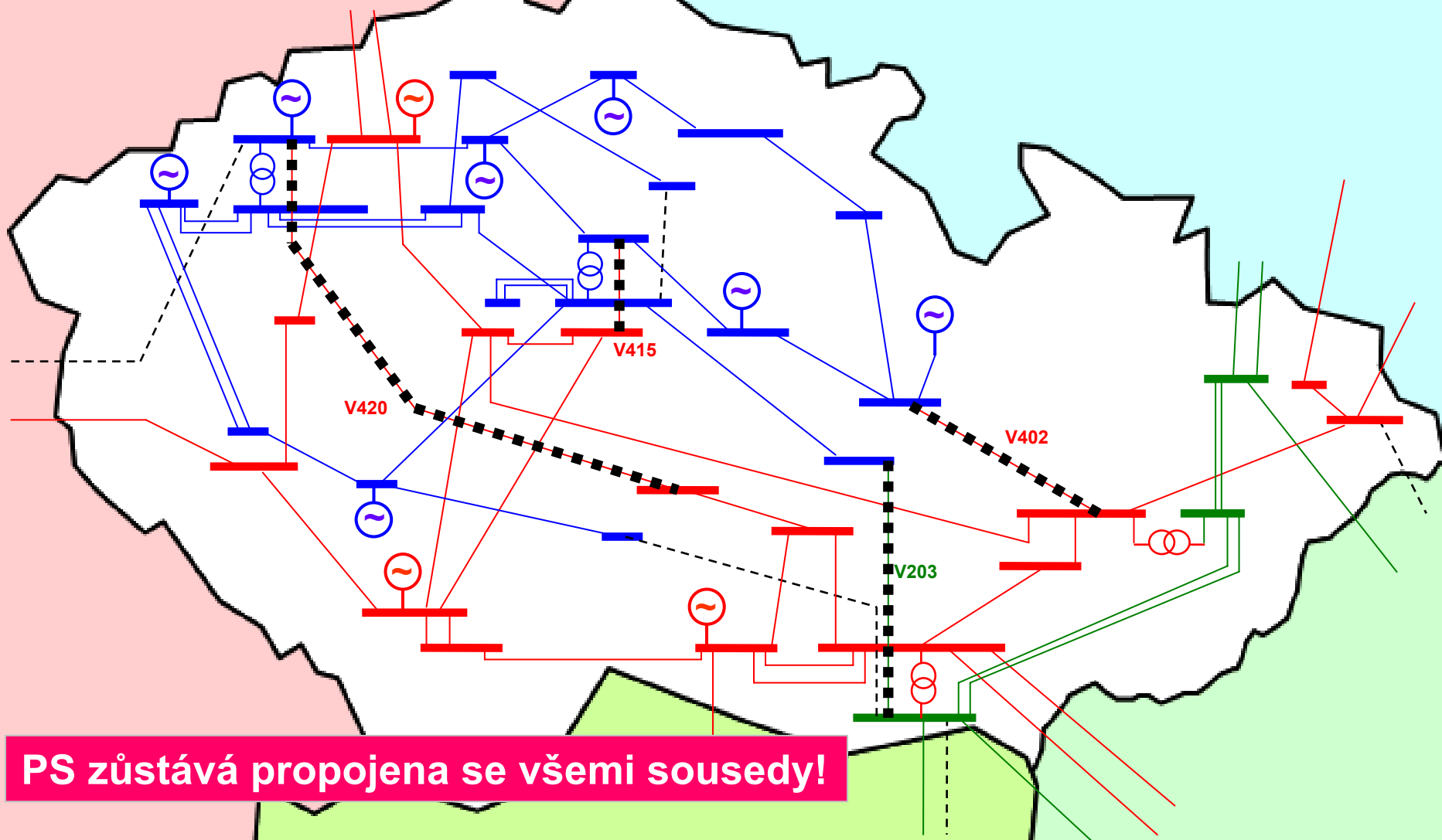
12:01 - výpadek V420

12:07 - výpadek V203

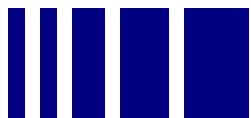
12:07 - výpadek V402



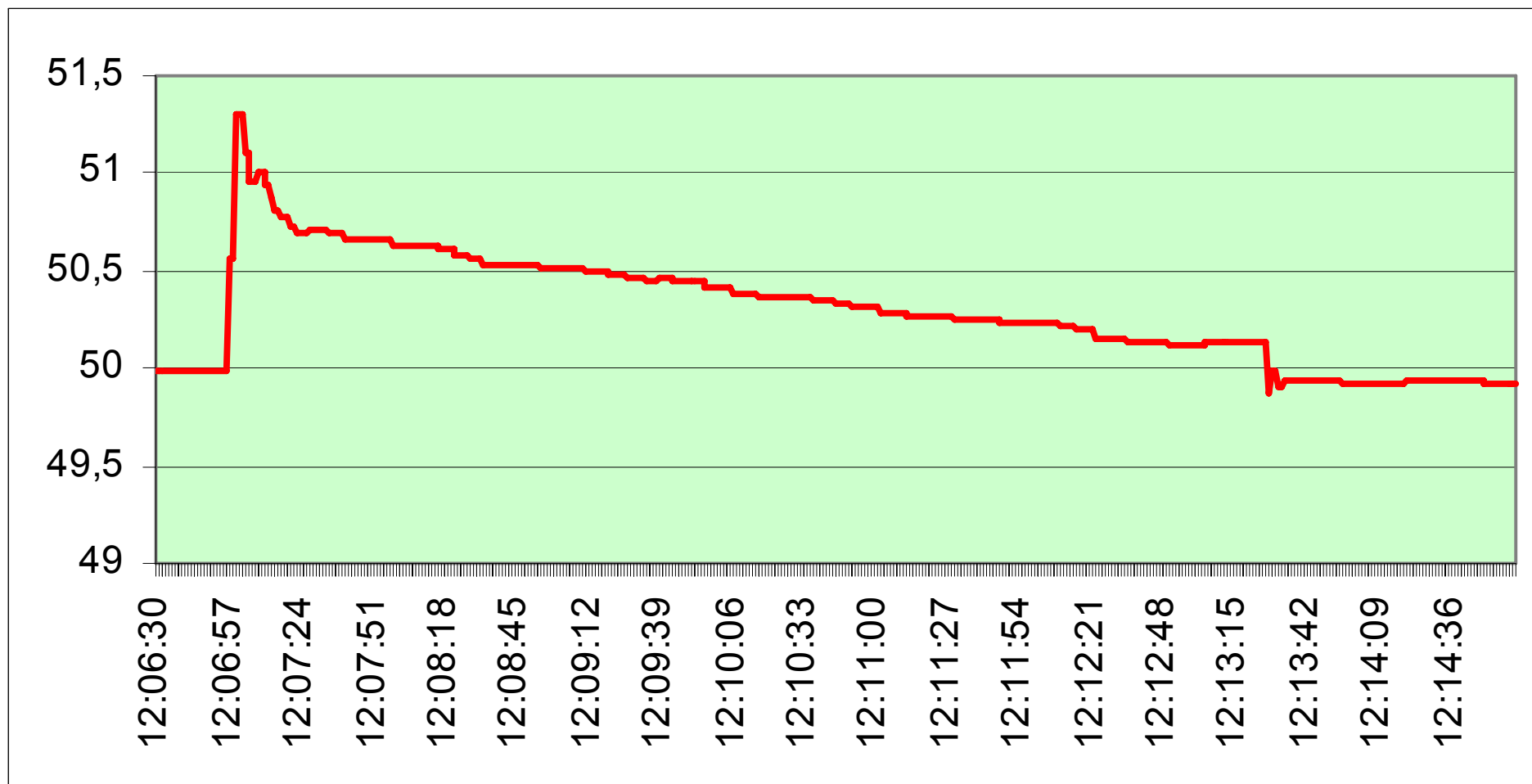
OSTROV 12:07 – 12:13



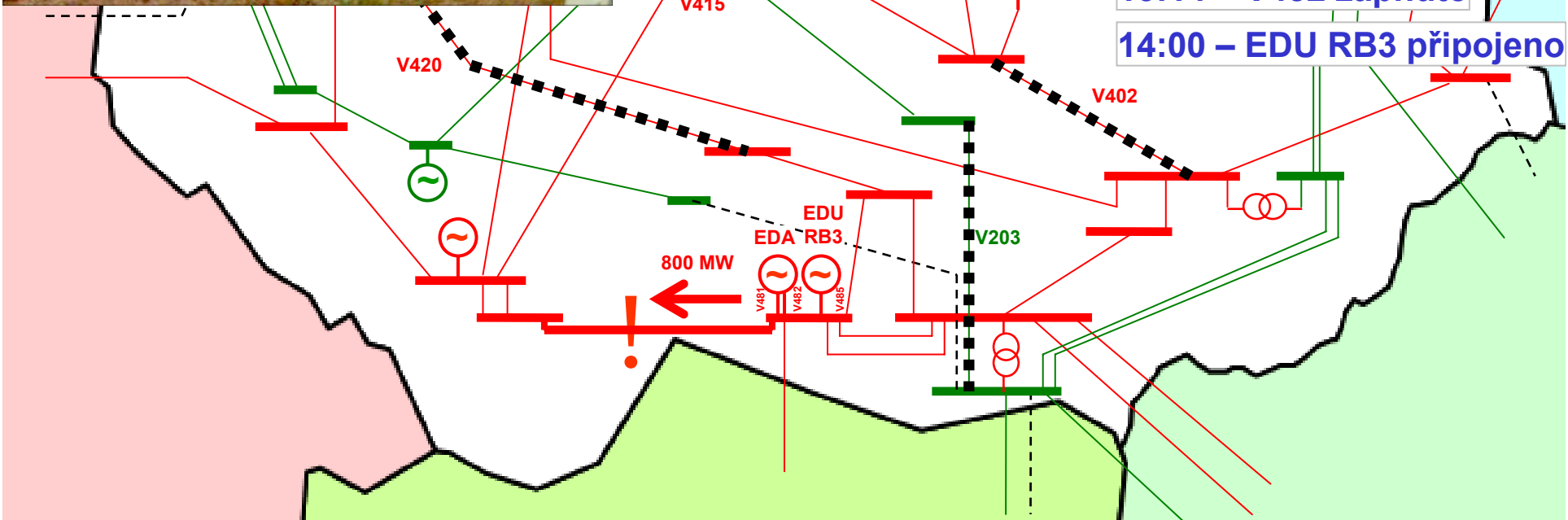
PS zůstává propojena se všemi sousedy!



## Kmitočet v 1.ostrově



## Sled událostí



12:13 – V415 zapnuta

12:26 – V203 zapnuta

12:46 – výpadek V410

13:03 – výpadek V201

13:03 – výpadek KSP

13:03 – přetok 800MW SLV-DAS-  
působení PHA,  
vypnutí V481, V482, V485

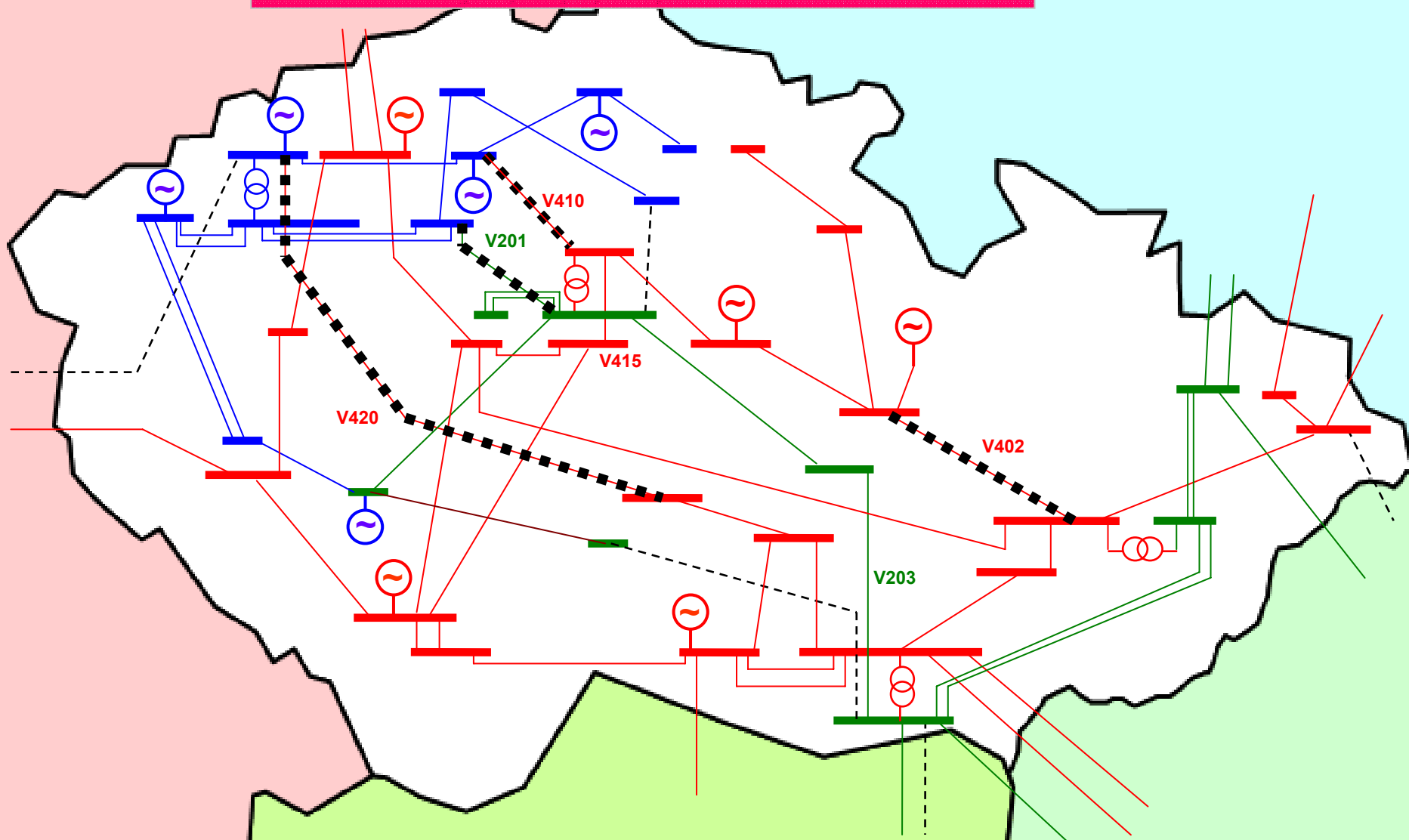
13:08 – V481 zapnuto

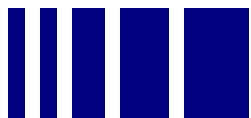
13:14 – V482 zapnuto

14:00 – EDU RB3 připojeno

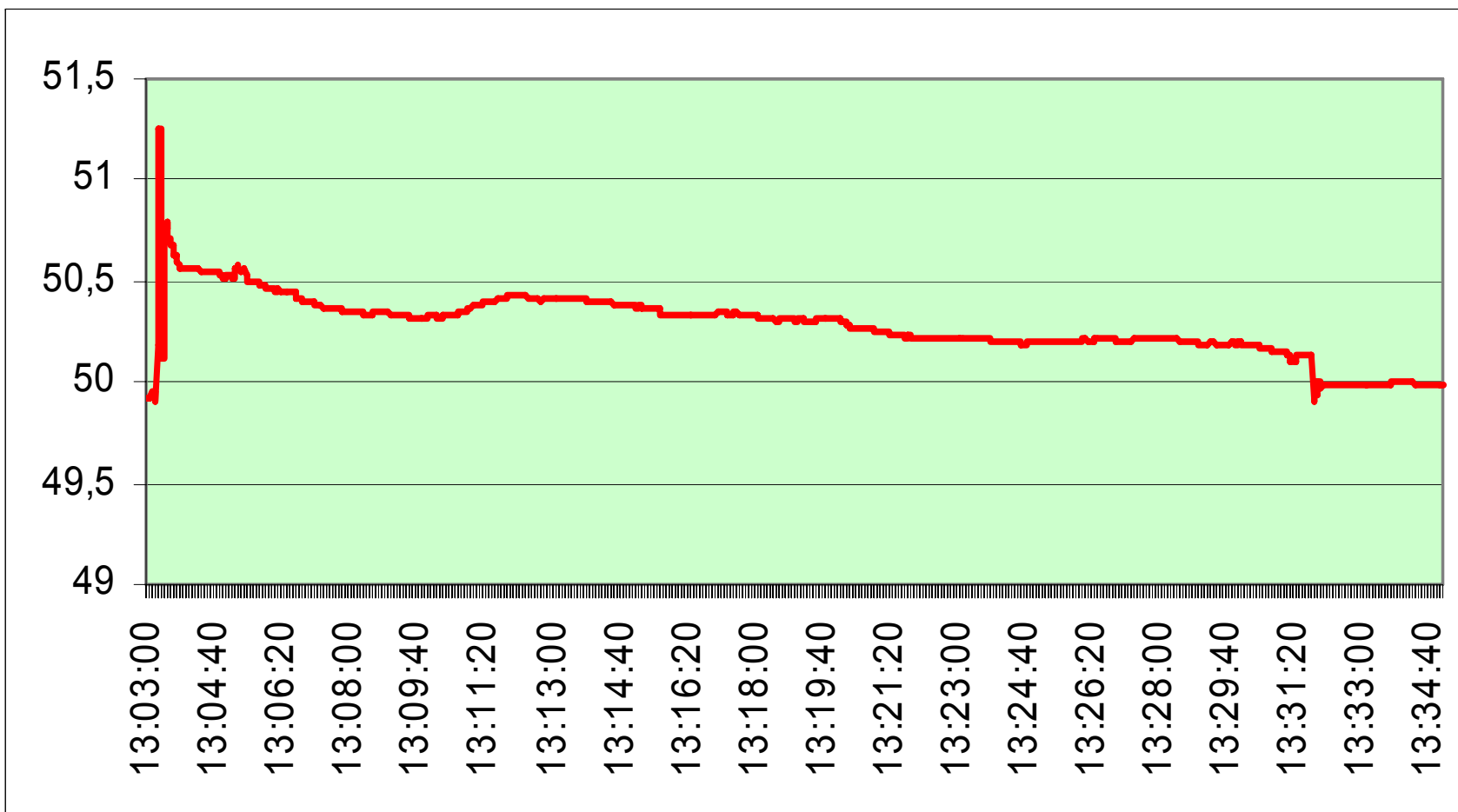
OSTROV2 13:03 – 13:30

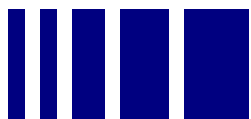
## Rozhodnutí o vyhlášení STAVU NOUZE





## Kmitočet v 2.ostrově





## Stav nouze

*„Je stav, který vznikl v ES v důsledku:*

- Ohrožení celistvosti PS, její bezpečnosti a spolehlivosti provozu.*
- Havárie na zařízeních pro přenos elektřiny.*
- Při stavech nouze je provozovatel PS oprávněn využívat v nezbytném rozsahu výrobních a odběrných zařízení odběratelů bez ohledu na smlouvy uzavřené mezi účastníky trhu s elektřinou.*
- Při vyhlášení stavu nouze je náhrada škody a ušlého zisku vyloučena“.*

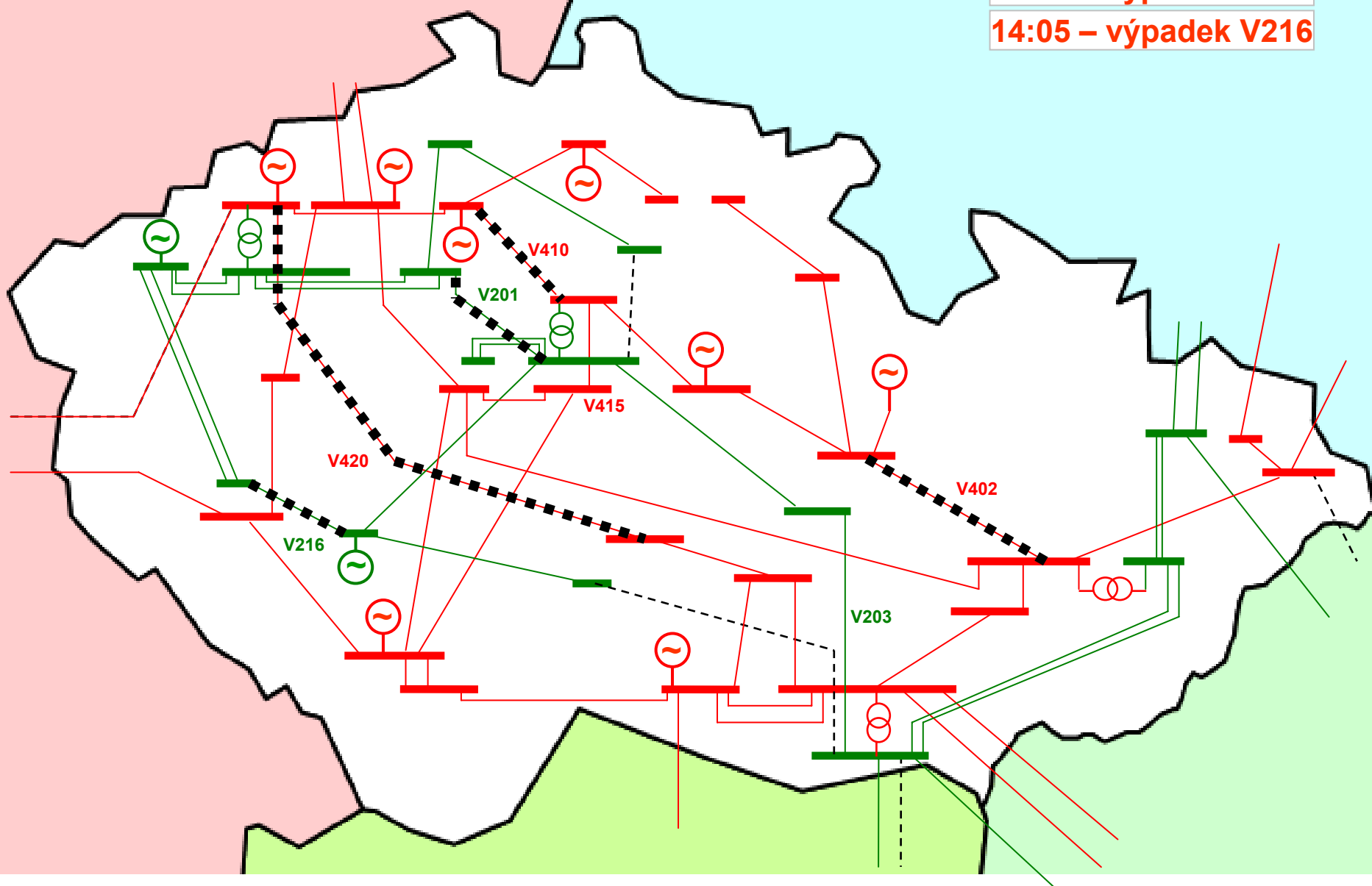
*(výňatek z § 54 zákona č. 458/2000 sbírky)*

## Sled událostí – 13:30->14:05

13:30 – V201 zapnuta

14:05 – výpadek V201

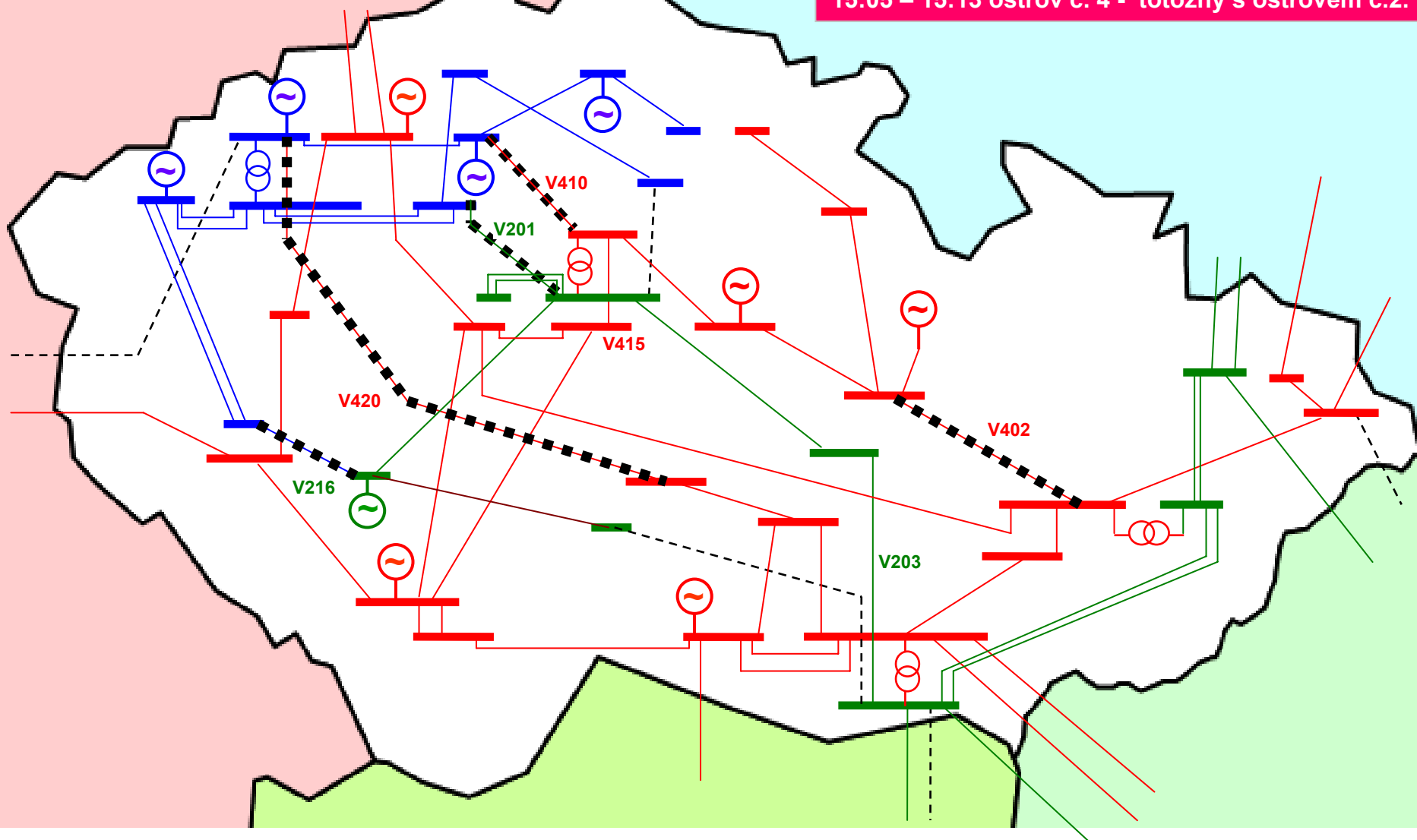
14:05 – výpadek V216



## OSTROV3 14:05 – 14:47

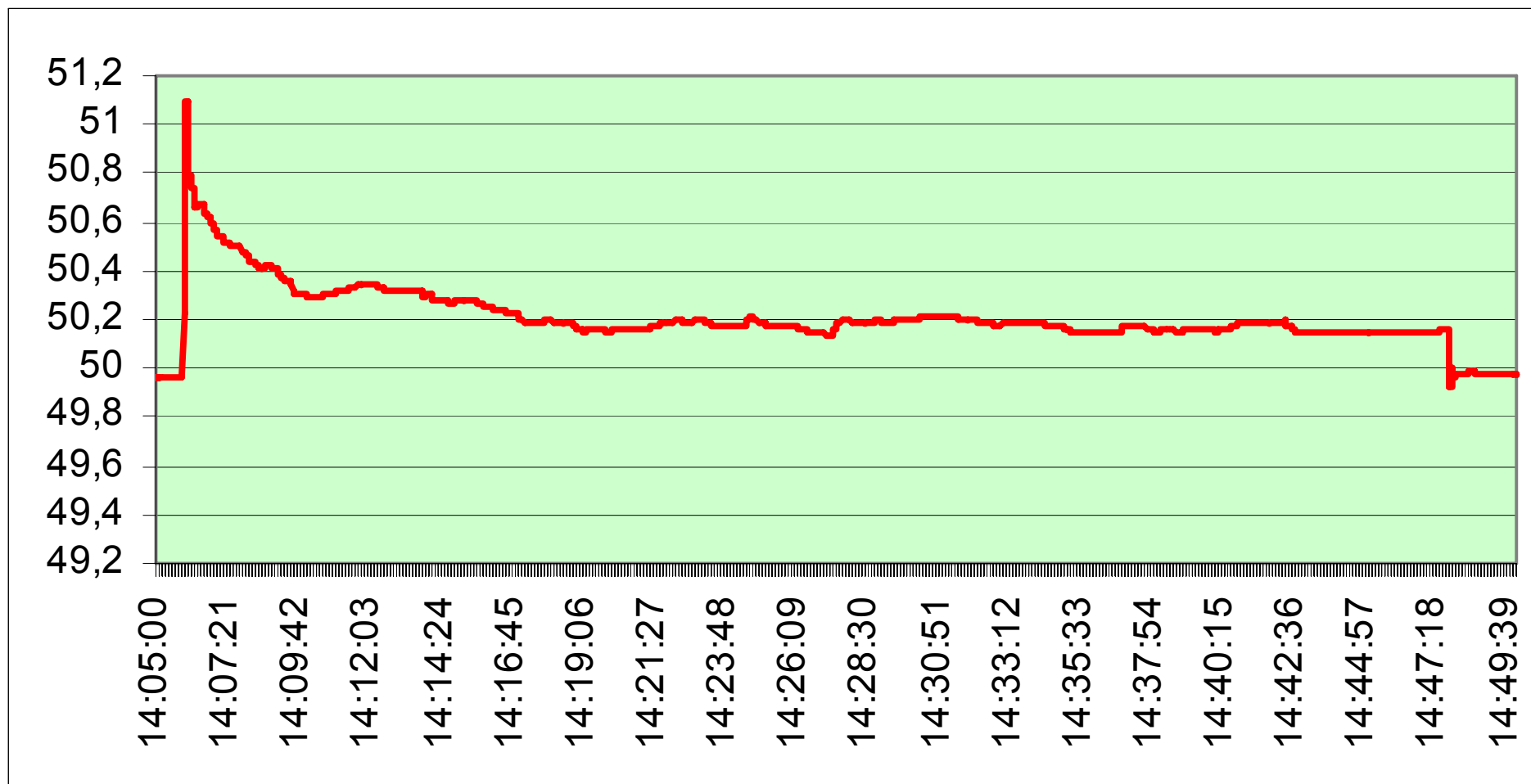
Stejný jako ostrov č.2, s výjimkou části RZ MILÍŇ

15:05 – 15:13 ostrov č. 4 - totožný s ostrovem č.2.





## Kmitočet ve 3.ostrově



## Odstraňování poruchy – 14:47->22:05

### Odvolán STAV NOUZE

14:47 – zapnutí V216

15:16 – zapnutí V201

15:32 – zapnutí V404

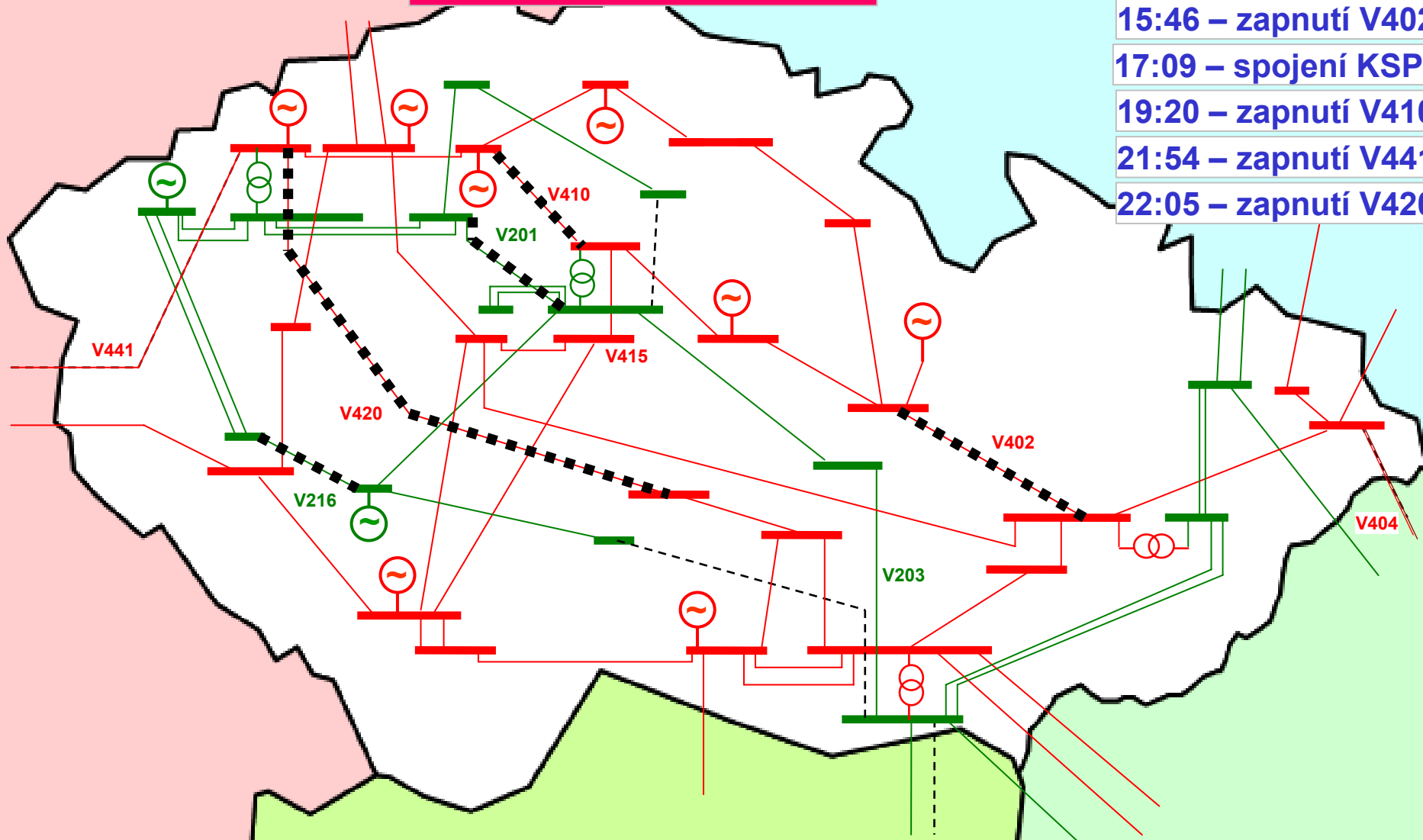
15:46 – zapnutí V402

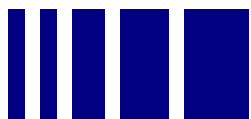
17:09 – spojení KSP

19:20 – zapnutí V410

21:54 – zapnutí V441

22:05 – zapnutí V420





## Regulační stupně

č.1 – striktní dodržování odběrových diagramů

č.2 – snížení 80 MW do 30minut

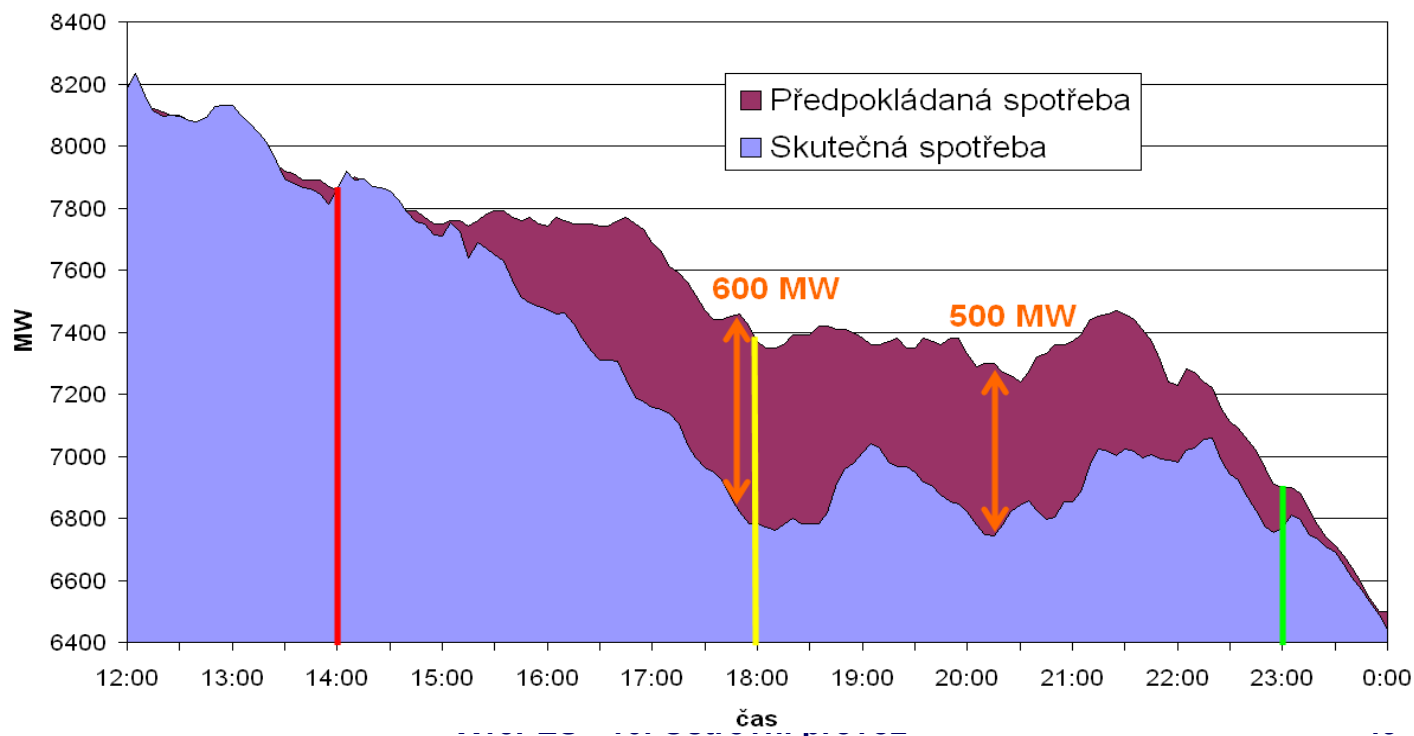
č.3 – snížení +480 MW do 30minut

č.4 – snížení +400 MW do 4 hodin po vyhlášení

č.5 – snížení +250 MW do 4 hodin po vyhlášení

*výpis z provozní instrukce č.820-2 Regulační plán ES ČR.*  
(rovněž vliv HDO)

### Efekt regulačních stupňů dne 25.7.2006





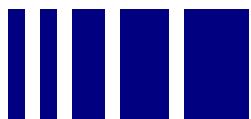
## Časy vyhlášení stavu nouze a regulačních stupňů

**13:00** - Schází se krizový štáb ČEPS a vyhlašuje STAV NOUZE.

**14:00** - Stav nouze vyhlášen společně s regulačními stupni 2,3,4,5.

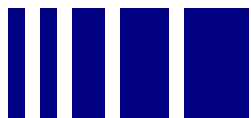
**18:00** - Zrušen RS č. 4 a 5.

**23:00** - Odvolán STAV NOUZE, zrušen RS č. 2 a 3 ,  
vyhlášen RS č. 1.



## Rozbor - příčiny

- Extrémní klimatické podmínky v celé Evropě - atypické stavy a přetoky výkonů, zvýšené nároky na PS.
- Změna přeshraničních toků výkonu o 900 MW během dvou hodin způsobená mimo jiné výpadky vedení do Itálie.
- Výpadek vedení V420 Hradec-Mírovka – rozpojení fázového lana.
- Destrukce vysokofrekvenční tlumivky v rozvodnách Čechy Střed a Krasíkov – překročení jmenovité zatížitelnosti při vysoké teplotě okolí.

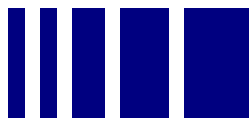


## Dopady poruchy

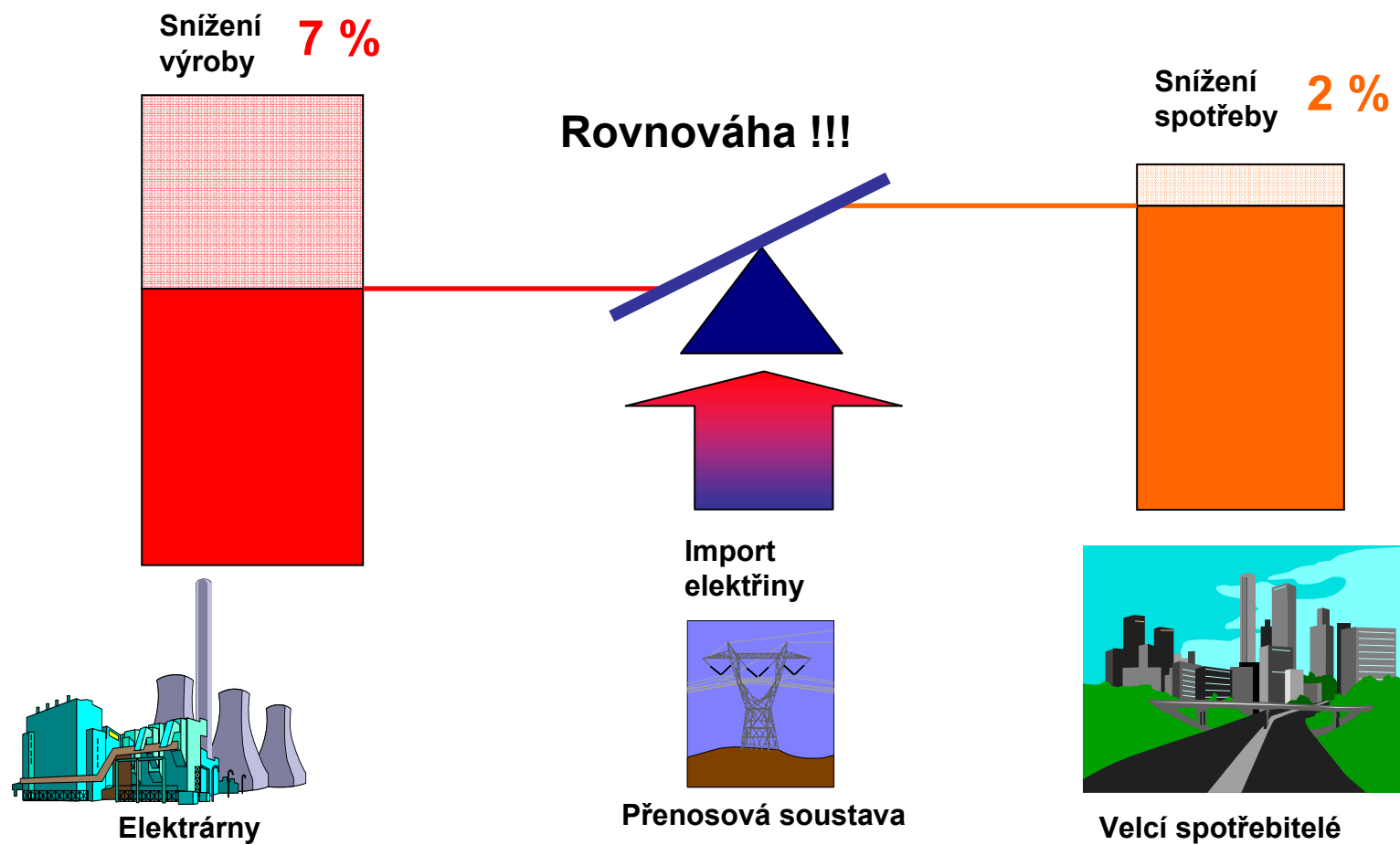
***Nebyla přerušena dodávka elektřiny žádnému spotřebiteli v ČR***

**Omezení velkých spotřebitelů dle platných regulačních stupňů – 600 MW**

**Omezení vyvedení výkonu v důsledku poruch :  
UE: Ledvice, Mělník 2 a 3, Opatovice, Počeradý,  
Prunéřov 1, Tisová, Tušimice 2  
PPC Trmice, PPC Vřesová  
JE Dukovany  
PVE Dalešice, PVE Dlouhé Stráně  
VE Orlík  
Maximální omezení výroby – 3000 MW**



## Bilance elektrické energie dne 25.7.





## Co přispělo k úspěšnému vyřešení stavu nouze ?

- Mezinárodní spolupráce provozovatelů PS – účinná pomoc na základě předem připravených pravidel a využití výhod propojení přenosových soustav v rámci UCTE (havarijní výpomoci a nákup regulační energie soudobě až 1300MW).
- Činnost dispečinku ČEPS při řešení havarijní situace, podle předem připravených havarijních scénářů a v souladu s platnou legislativou.
- Výrobci elektrické energie – úspěšný provoz bloků v netypických provozních podmínkách (např.ostrovní provozy) dle pravidel stanovených Kodexem PS.
- Vybraní spotřebitelé – účinné omezení odběru elektrické energie dle vyhlášených regulačních stupňů.