



# Vliv výroby z obnovitelných zdrojů na stabilitu elektrizační soustavy

Petr Horáček<sup>1)</sup>, Eduard Janeček<sup>2)</sup>

horacek@fel.cvut.cz, janecek@kky.zcu.cz

- 1) České vysoké učení v Praze, Fakulta elektrotechnická
- 2) Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd

# Obsah prezentace

- Jak pracuje naše elektrizační soustava v propojené evropské síti
- Model chodu soustavy a její regulace
- Charakter výroby elektřiny z větru a ze slunce
- Regulační zálohy vynucené výrobou z OZE
- Závěry

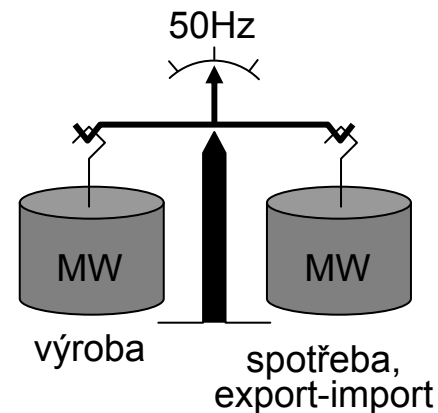
# Zajištění spolehlivého provozu ES

• jak pracuje ES

- model ES
- výroba z OZE

zajišťování rovnováhy mezi výrobou a spotřebou  
garantování nasmlouvaných přeshraničních výměn  
udržování systémové frekvence

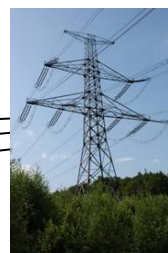
výroba



rozvodna VVN



přenosová soustava



transformační stanice

spotřeba

distribuční soustava



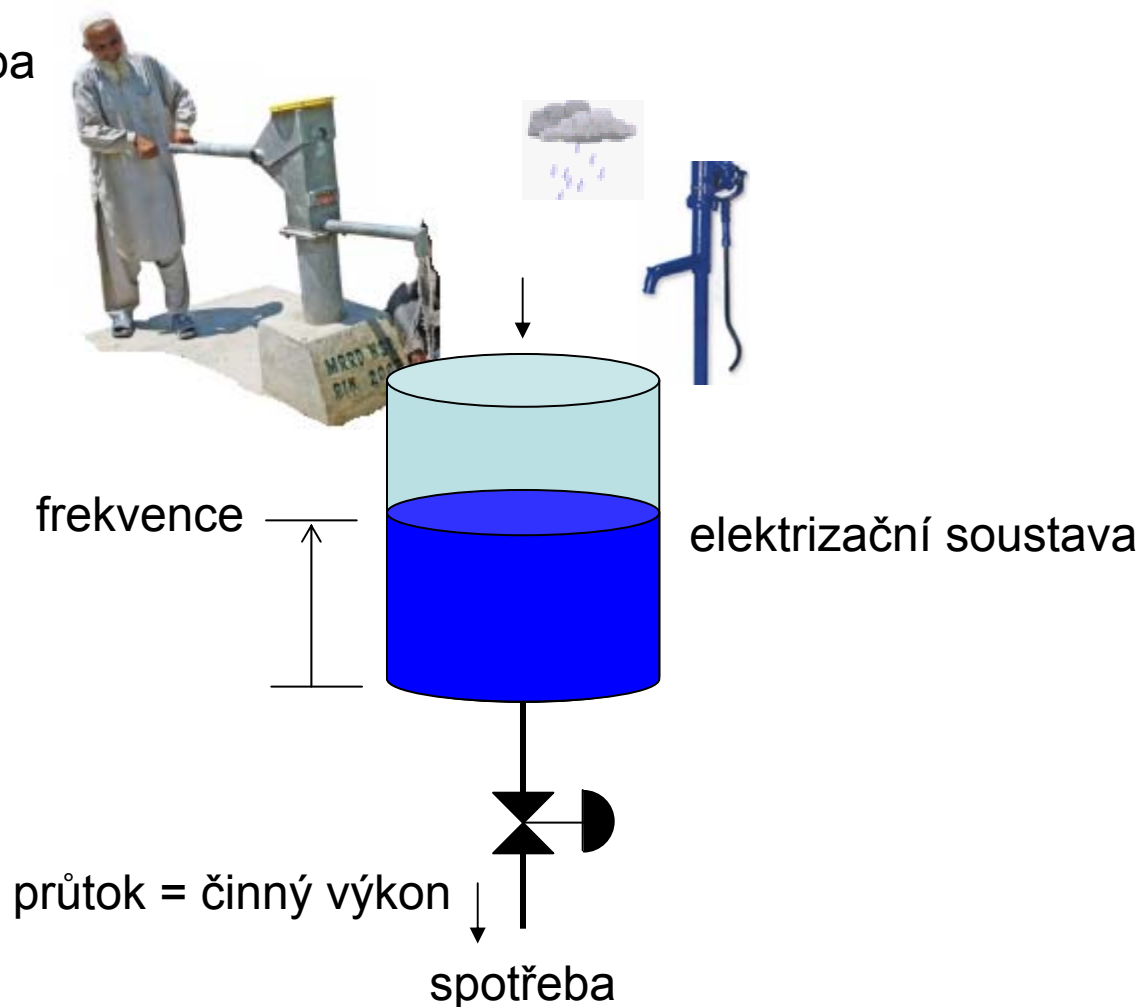
koncový zákazník



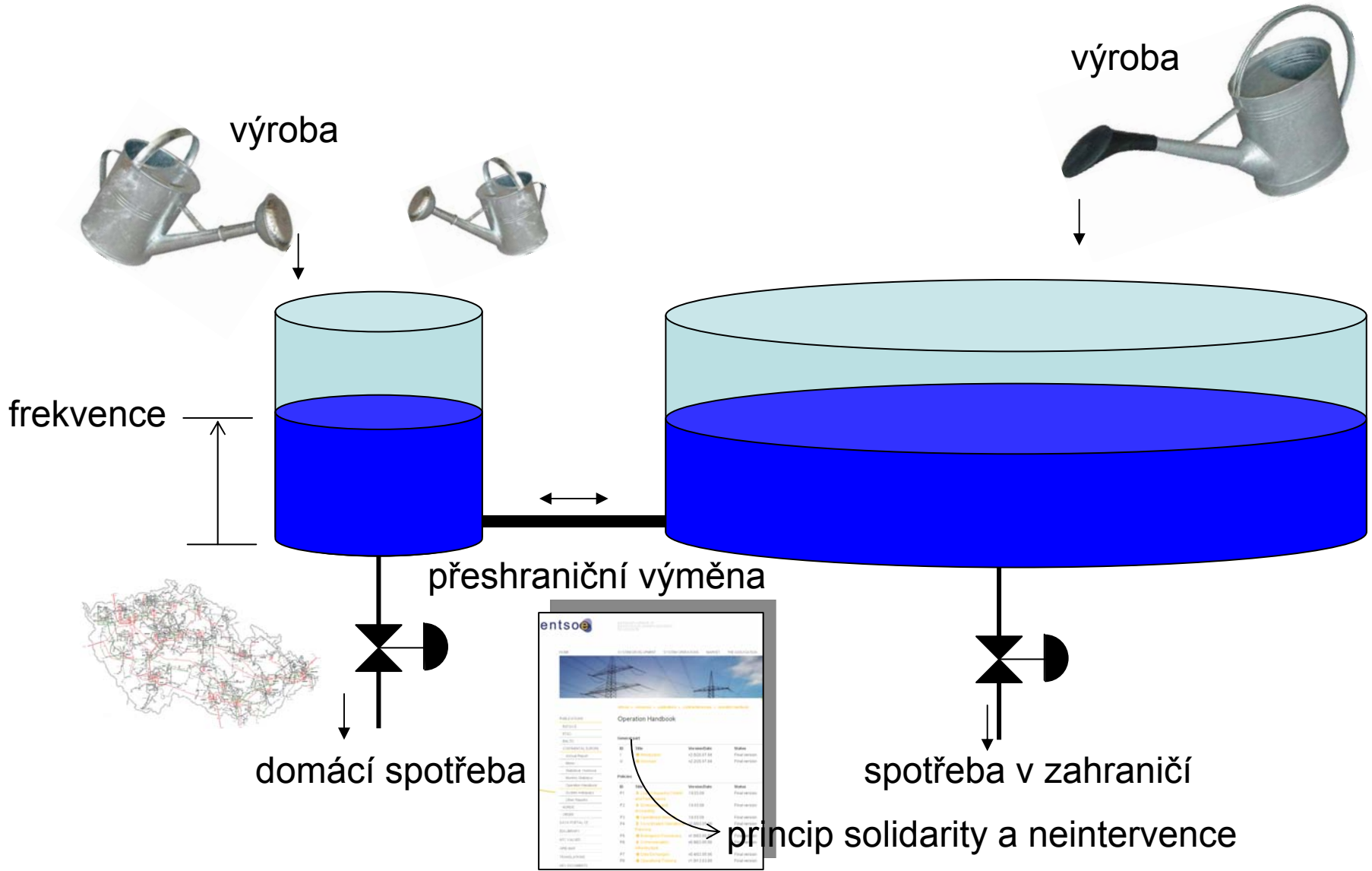
*Vliv výroby z obnovitelných zdrojů na stabilitu elektrizační soustavy*

# Izolovaná soustava

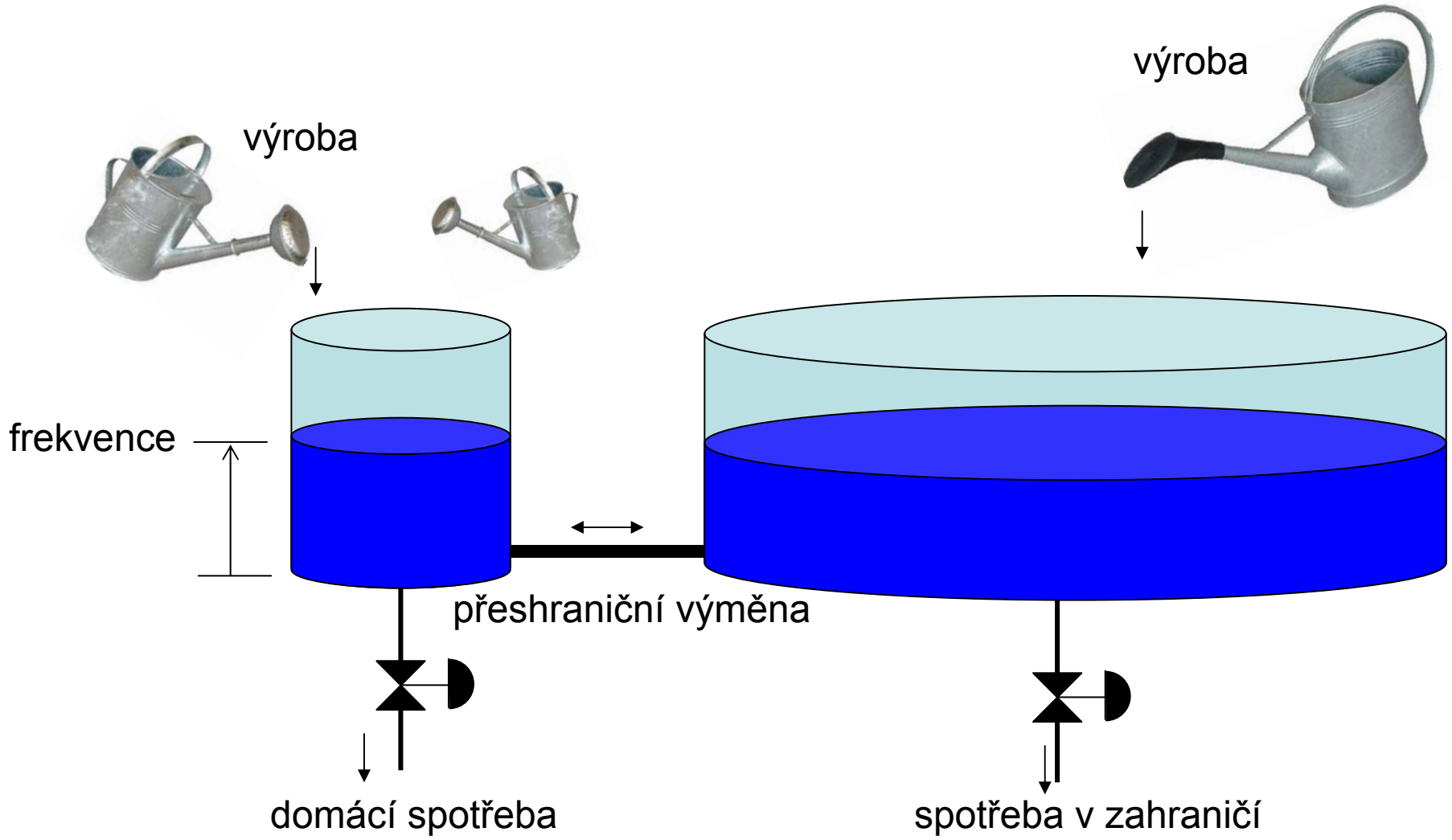
výroba



# Propojené soustavy normální provoz



# Propojené soustavy normální provoz



# Výpadek domácího zdroje počáteční fáze

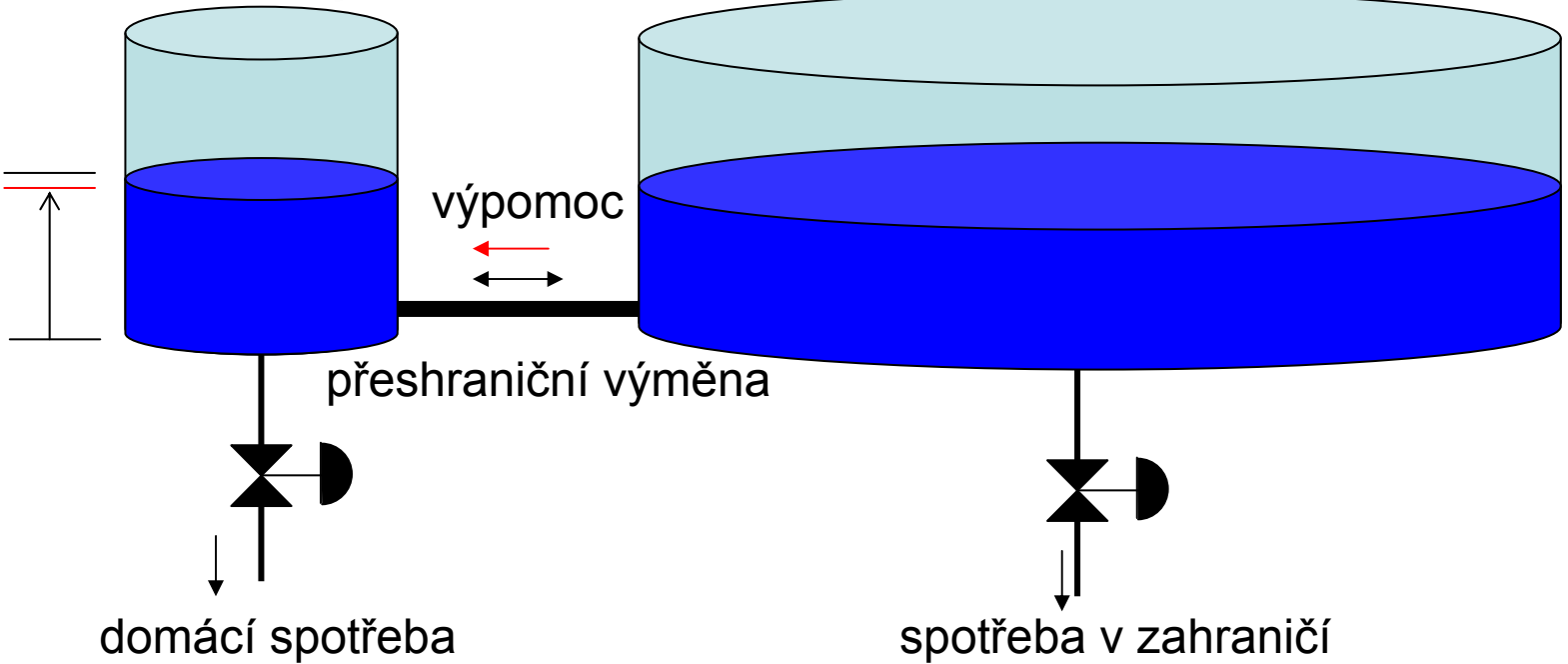
1) výpadek výroby



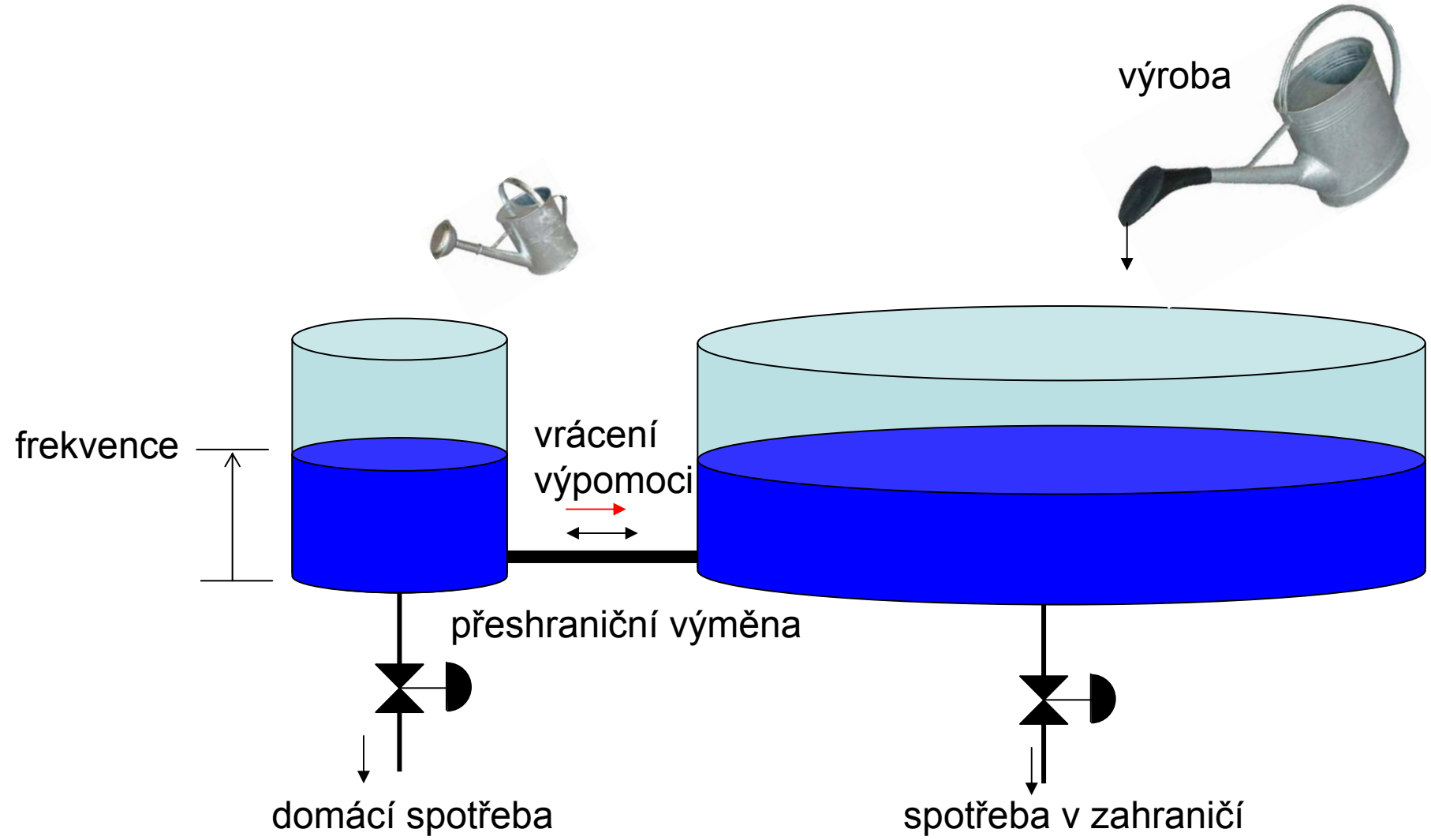
3) krátkodobě **zvýšená** výroba



2) pokles frekvence

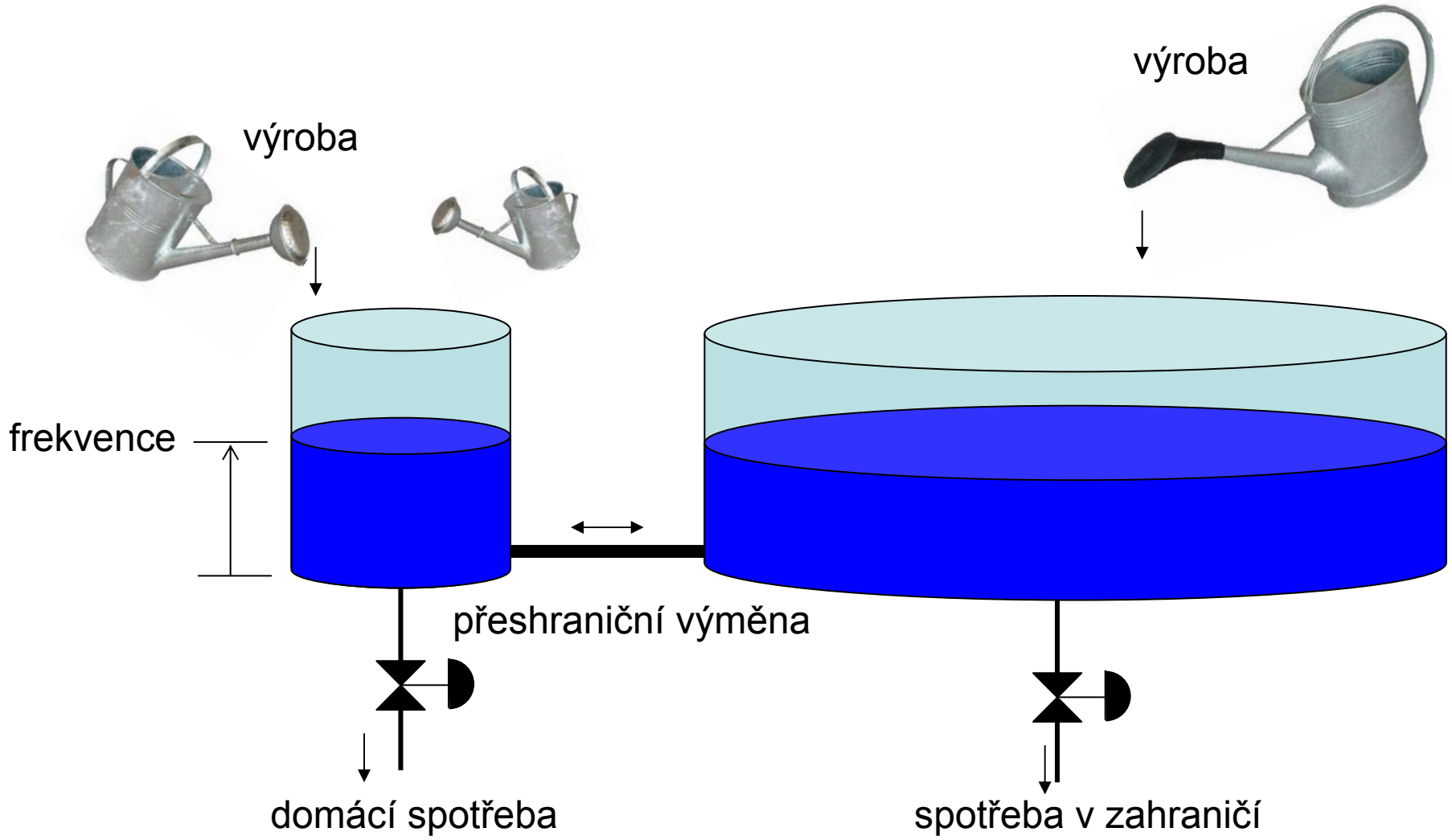


# Výpadek domácího zdroje závěrečná fáze





# Obnovení stavu před výpadkem

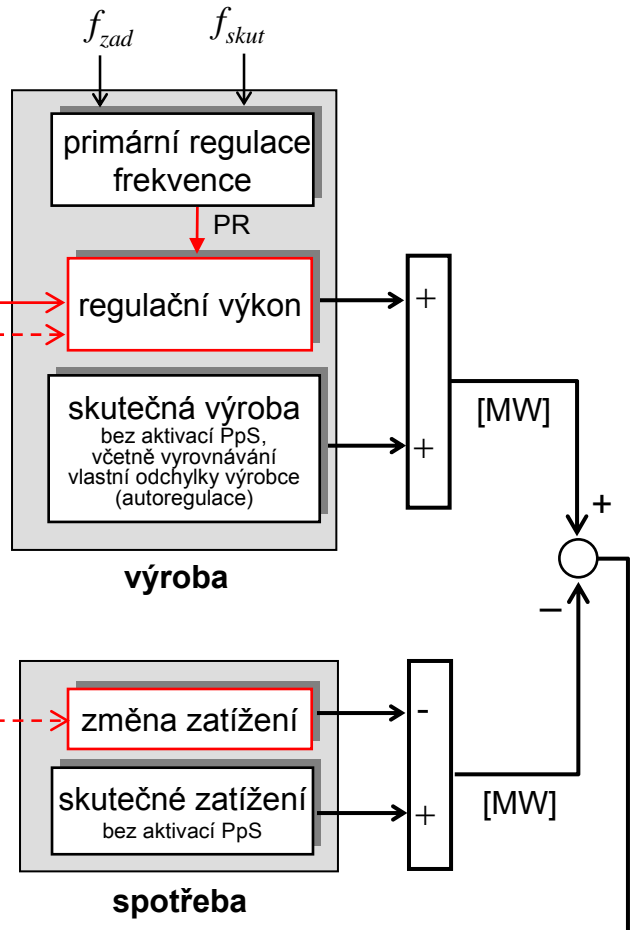
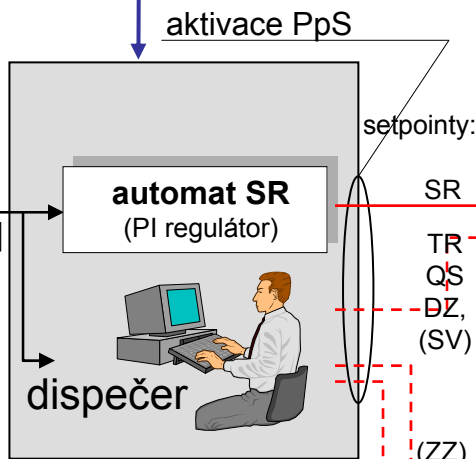
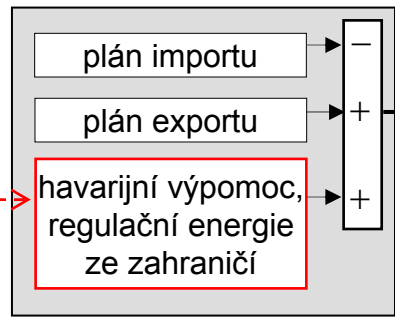
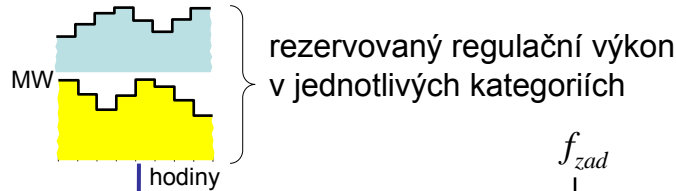


# "Regulační" úloha provozovatele přenosové soustavy

předepsaný solidární výkon PR  
odvozený od odchylky frekvence

odchylka předávaných výkonů  
od plánované hodnoty

plánovaná přeshraniční výměna



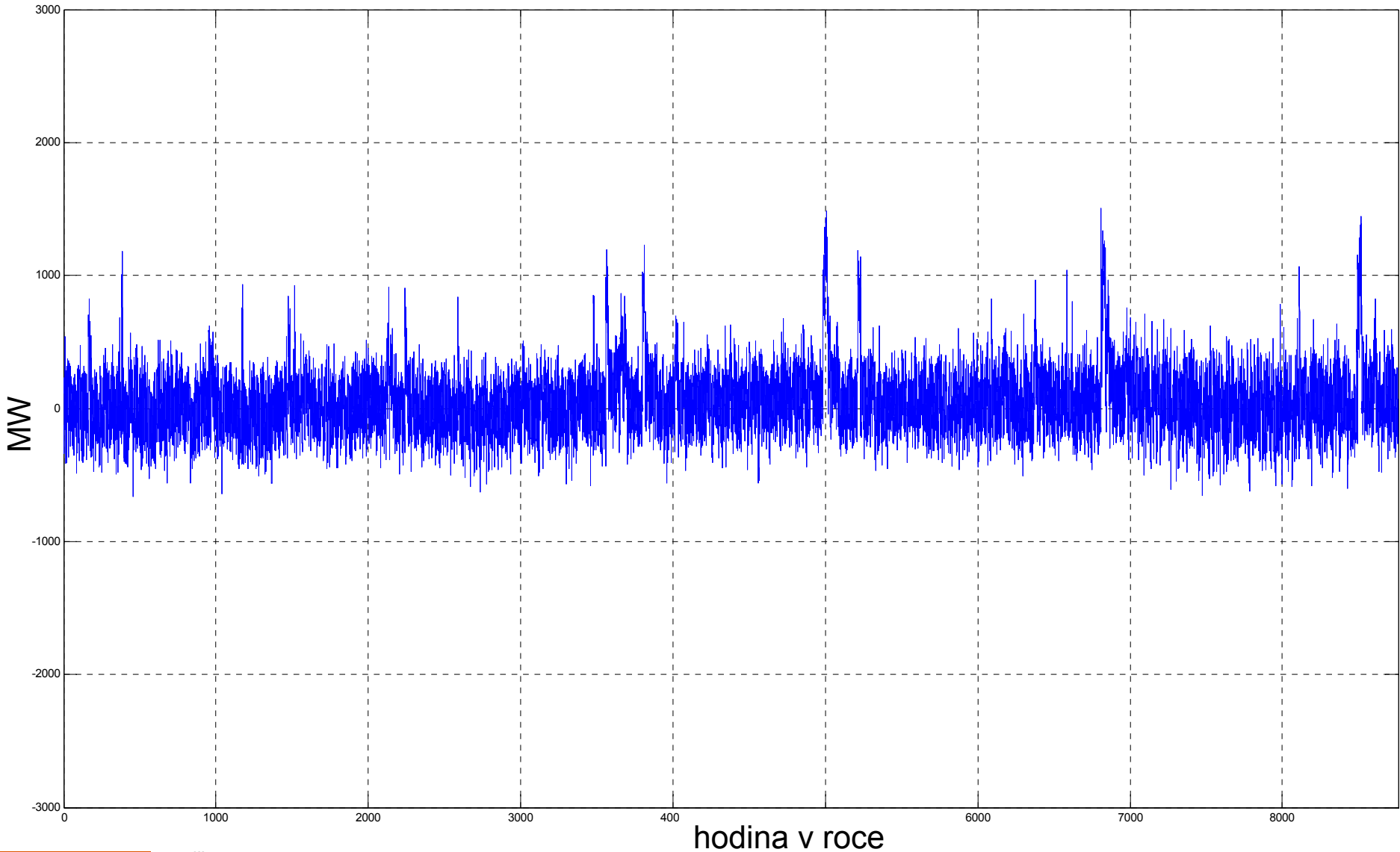
okamžitá regulační odchylka výkonu  
pro danou oblast

+ ▲ neplánovaný import  
- ▼ neplánovaný export

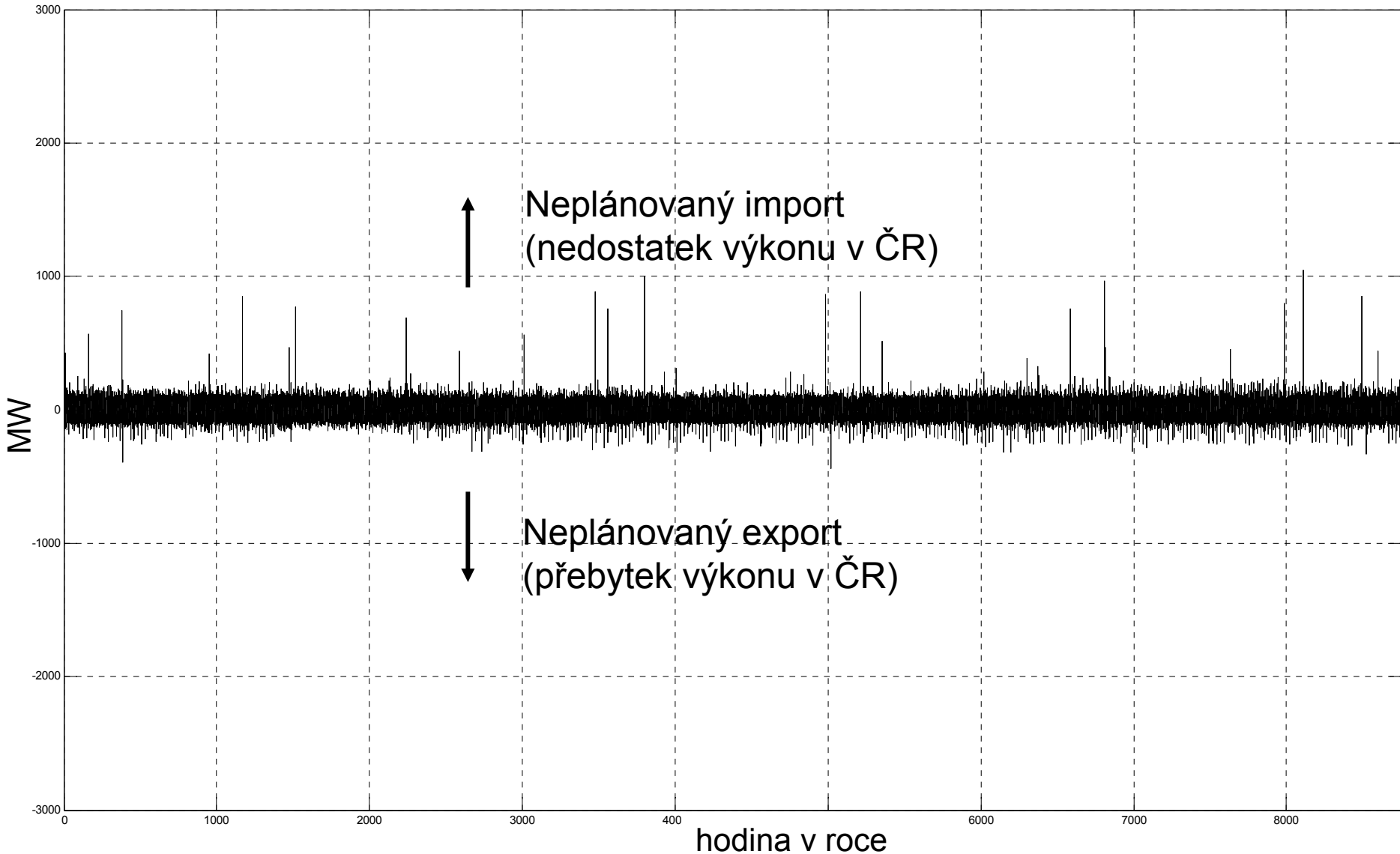
skutečná výměna

HV, EregZ

# Nekompenzovaná odchylka



# Kompenzovaná odchylka běžné, akceptovatelné fluktuace

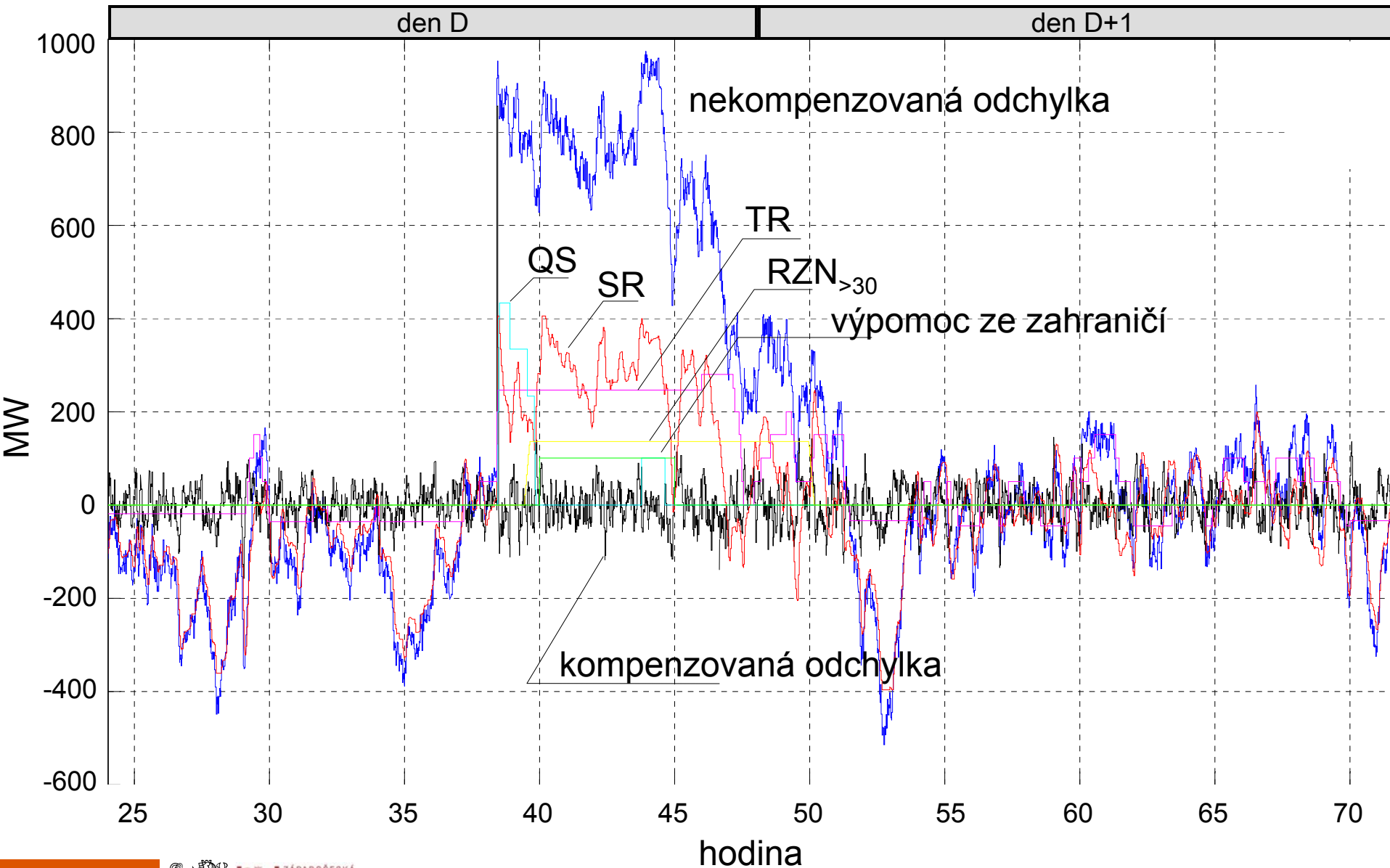


# Kompenzace odchyly

• jak pracuje ES

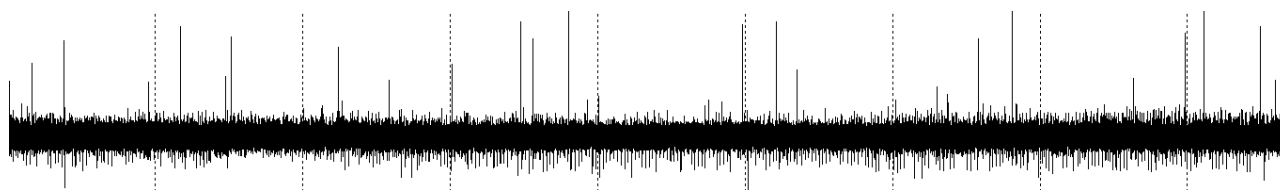
• model ES

• výroba z OZE

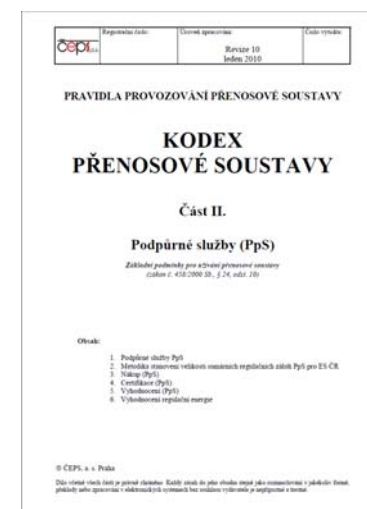


# Standardy spolehlivosti provozu ES požadavky kladené na regulační odchylku

- 1) Maximální počet případů (v roce), kdy minutový průměr odchylky přesáhne 100MW
- 2) Maximální počet případů (v roce), kdy hodinový průměr odchylky přesáhne 20MW
- 3) Maximální počet odchylek přesahujících 100MW neodregulovaných do 15 minut (v roce)

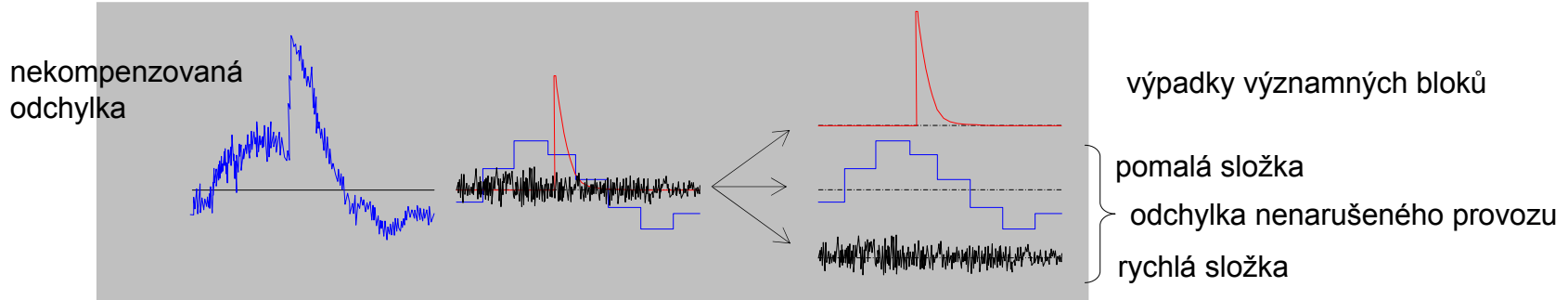


Určuje se z provozu soustavy v minulých letech, kdy byl provoz považován za bezproblémový (případné stavy nouze vyloučeny z vyhodnocení)



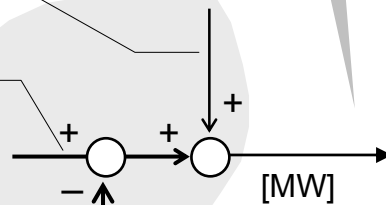
# Statistický model regulační odchylky

- jak pracuje ES
- **model ES**
- výroba z OZE

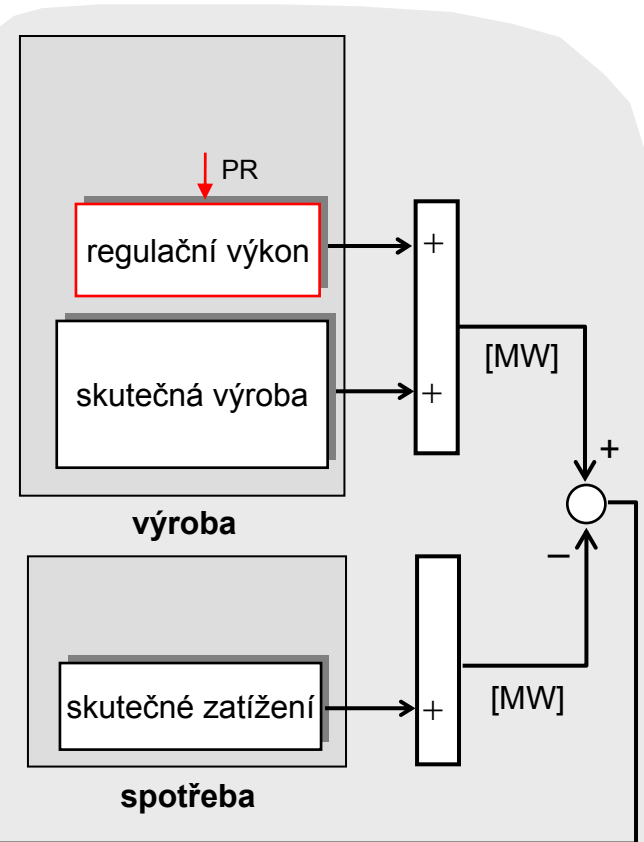


předepsaný solidární výkon PR  
odvozený od odchylky frekvence

plánovaná výměna



skutečná výměna neregulované soustavy



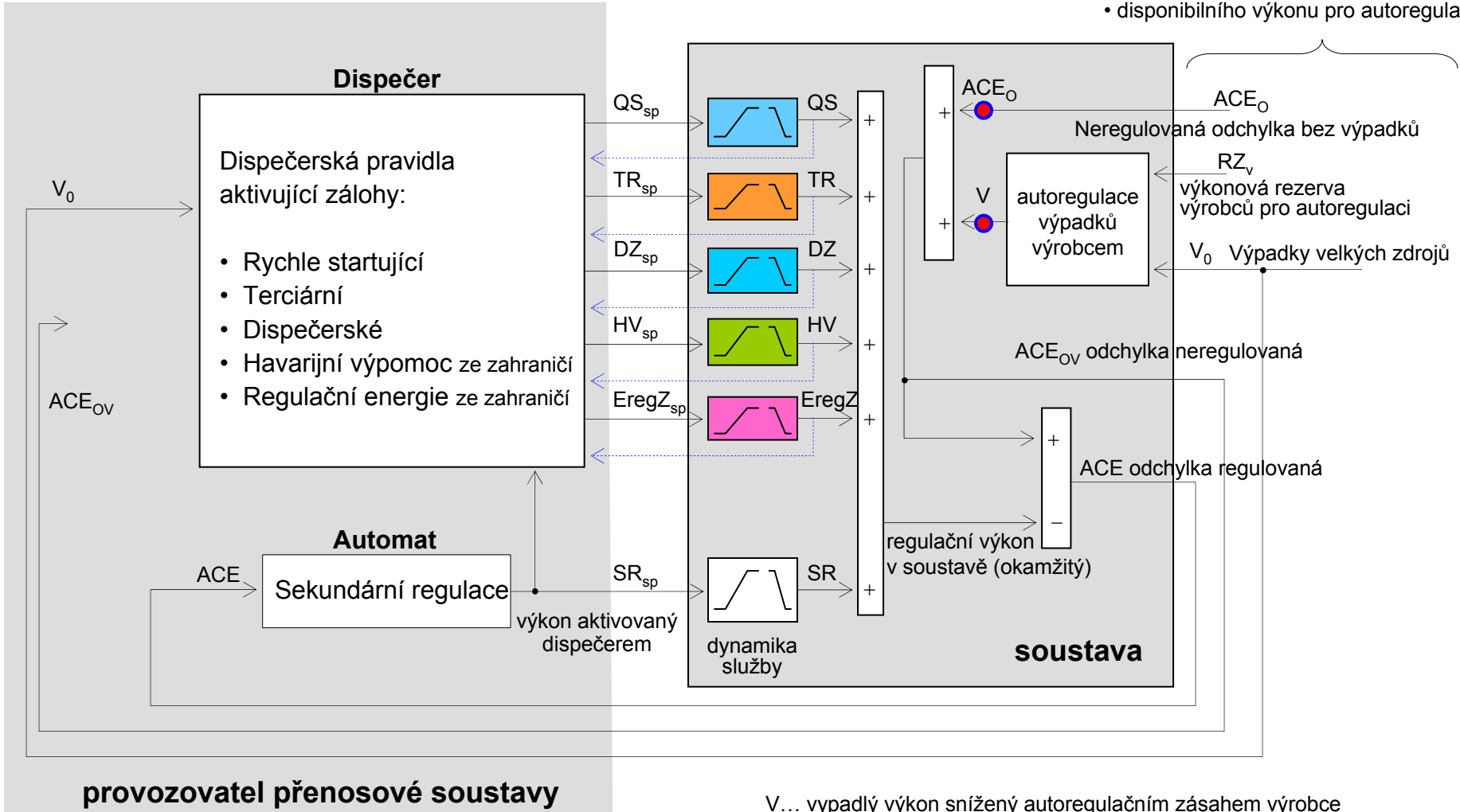
# Simulátor regulační oblasti

- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

Regulační zálohy: RZSR, RZTR<sup>+</sup>, RZTR<sup>-</sup>, RZQS, RZN30+

Modely (generátory)

- nenarušeného provozu
- výpadků
- disponibilního výkonu pro autoregulaci



V... vypadlý výkon snížený autoregulačním zásahem výrobce

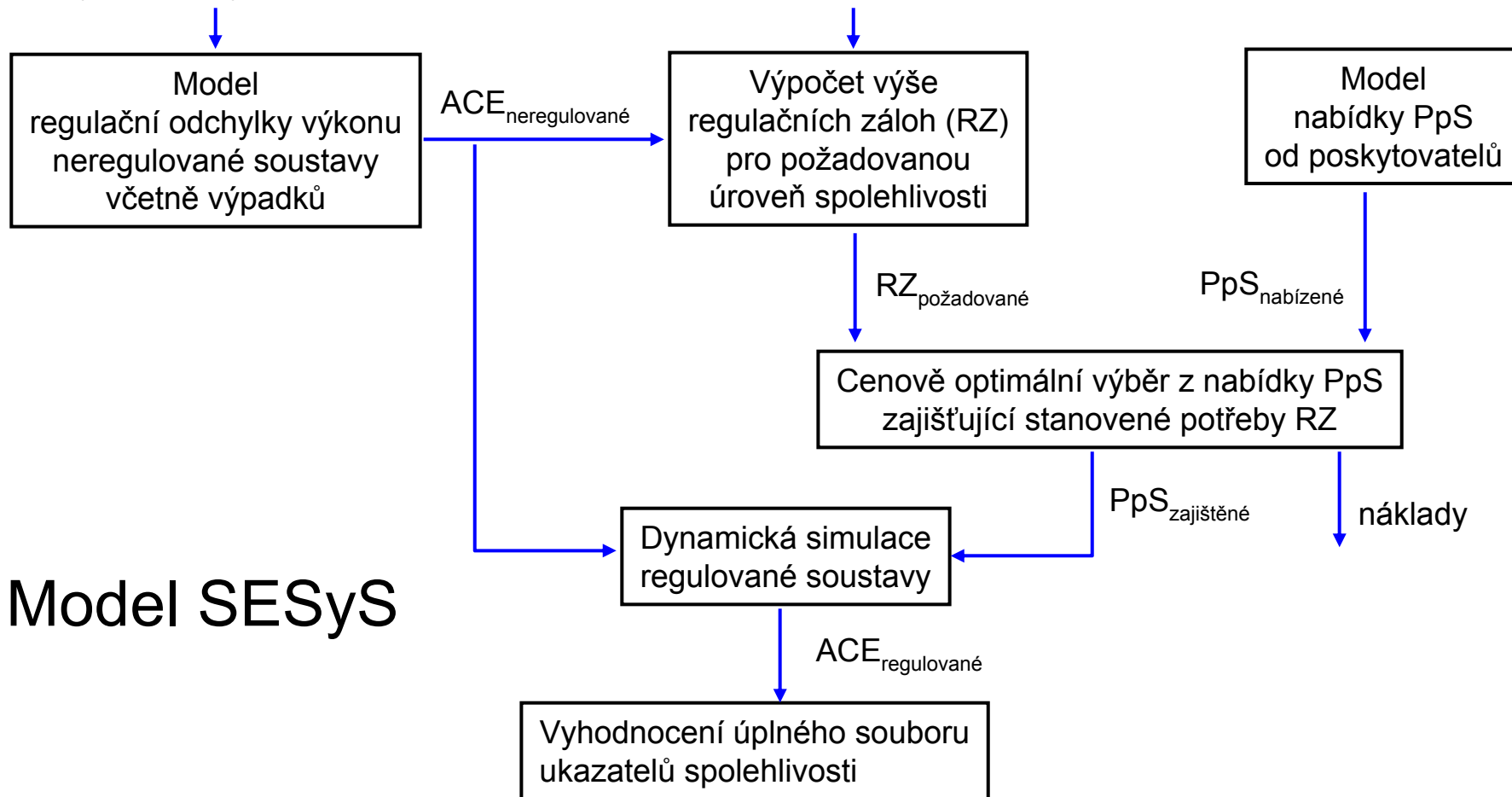
ACE<sub>OV</sub> ... okamžitá regulační odchylka výkonu bez aktivací PpS



- jak pracuje ES
- **model ES**
- výroba z OZE

Historie:  
 regulační odchylka výkonu (ACE)  
 regulační výkon (PpS)  
 výpadky bloků s výkonem  $\geq 200\text{MW}$

Požadovaná (historicky přijatelná) spolehlivost:  
 $|\text{minutový průměr ACE}| > 100\text{MW}$   
 $|\text{hodinová energie ACE}| \geq 20\text{MWh/h}$



Model SESyS

očekávaná spolehlivost regulované soustavy

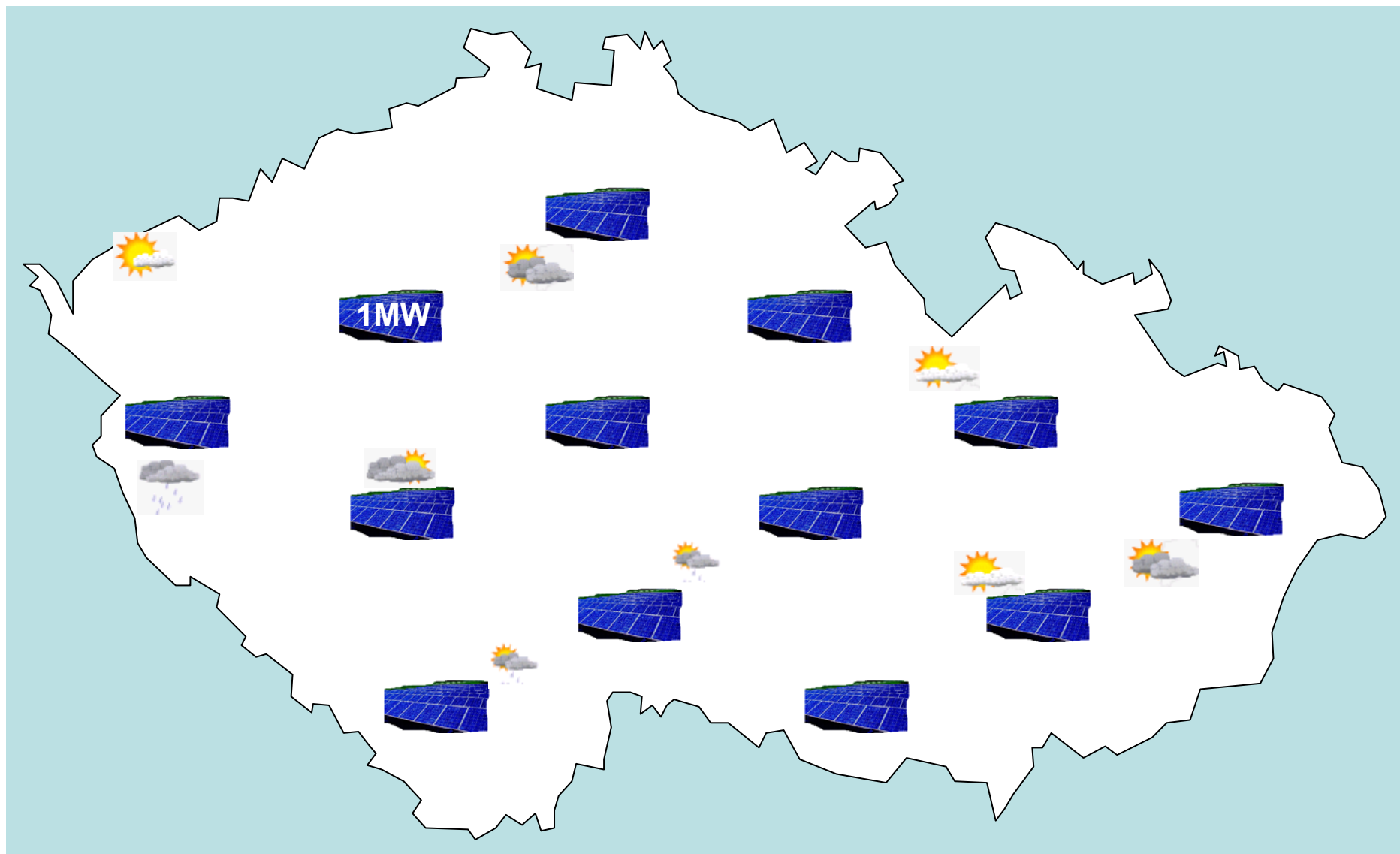
*Vliv výroby z obnovitelných zdrojů na stabilitu elektrizační soustavy*

# Předpoklady pro výpočty

- výpočet se současnými standardy, chceme aby se chování odchylky oproti minulým letům nezhoršovalo
- soudobost odchylek výroby od predikce nezávislá na lokalitě
- jednotková fotovoltaická farma 1MW
- predikce vyrobené elektrické energie z FV i VtE je celá prodána (odregulovává se tedy pouze odchylka výroby z OZE od predikce)

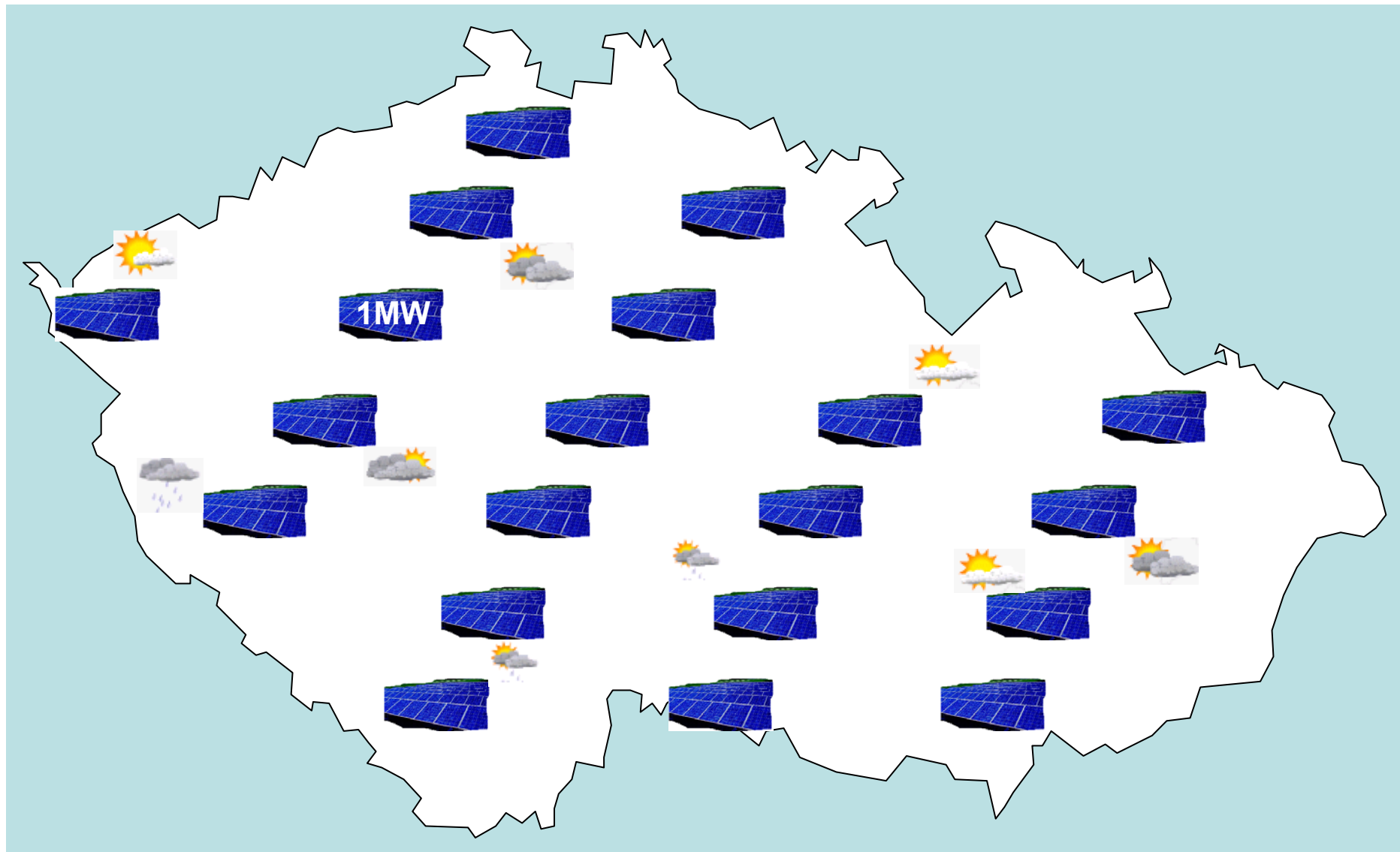
- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

# Model distribuované výroby ze slunce



# Model distribuované výroby ze slunce

- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE



# Model distribuované výroby ze slunce

- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE



# Data použitá pro analýzy vlivu výroby z větru a slunce

- **Historie chodu soustavy bez regulací**

do konce roku 2008 včetně již tehdy instalované výroby z OZE

- Regulační odchylka minutová
- Regulační odchylka hodinová

- **FV systémy**

- ČVUT Praha (minutová data)
- Solartec, s.r.o. (10-ti minutová data celé ČR)

- **Větrné farmy**

- minutové výkony (pro měsíce srpen a září)  
ČEZ a E.ON

# Měření výroby elektřiny ze slunce v jedné lokalitě

- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

Pro **model výroby z jedné lokality**: minutová data dodávaného výkonu z let 2006 až 2009

Zdroj dat: ČVUT FEL Praha <http://andrea.feld.cvut.cz/fvs/>



# Měření distribuované výroby elektřiny ze slunce

- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

Pro **plošné korelace** (model vzájemné závislosti výroby z různých lokalit)

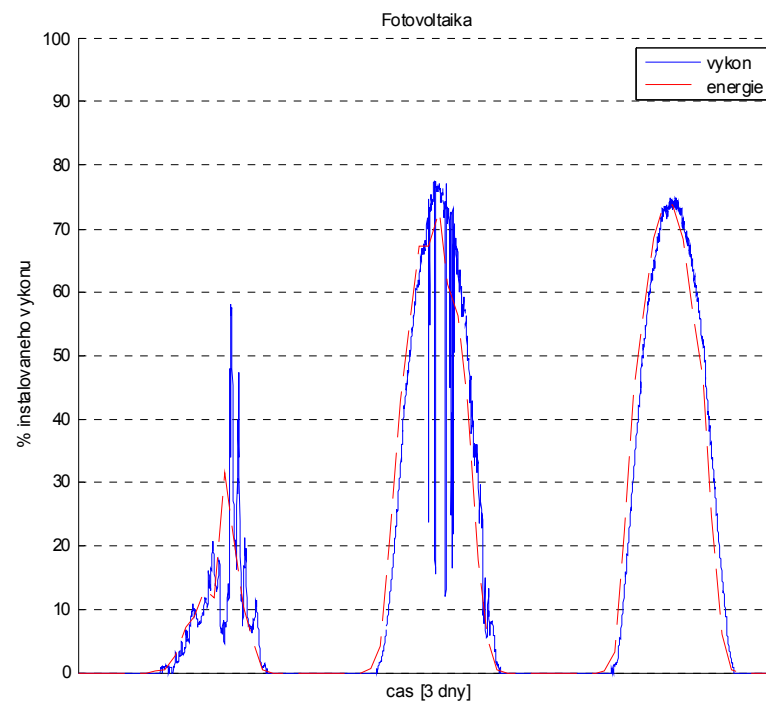
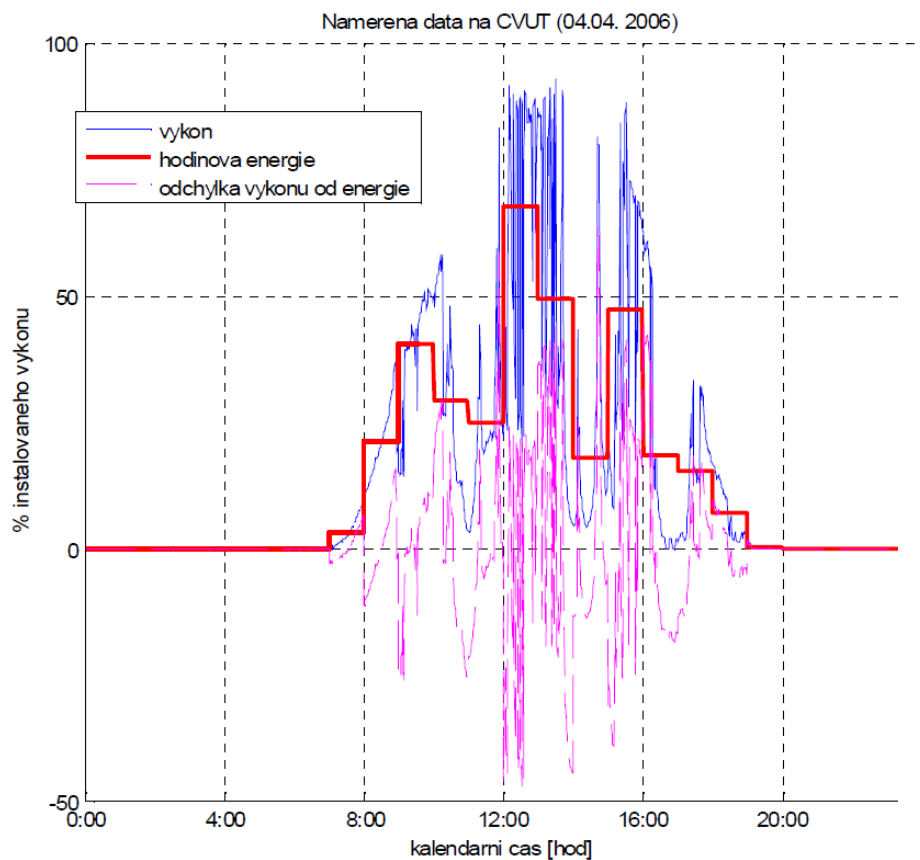
Zdroj dat: <http://www.solartec.cz/cs/projekty/vliv-znecisteni/on-line-data.html>



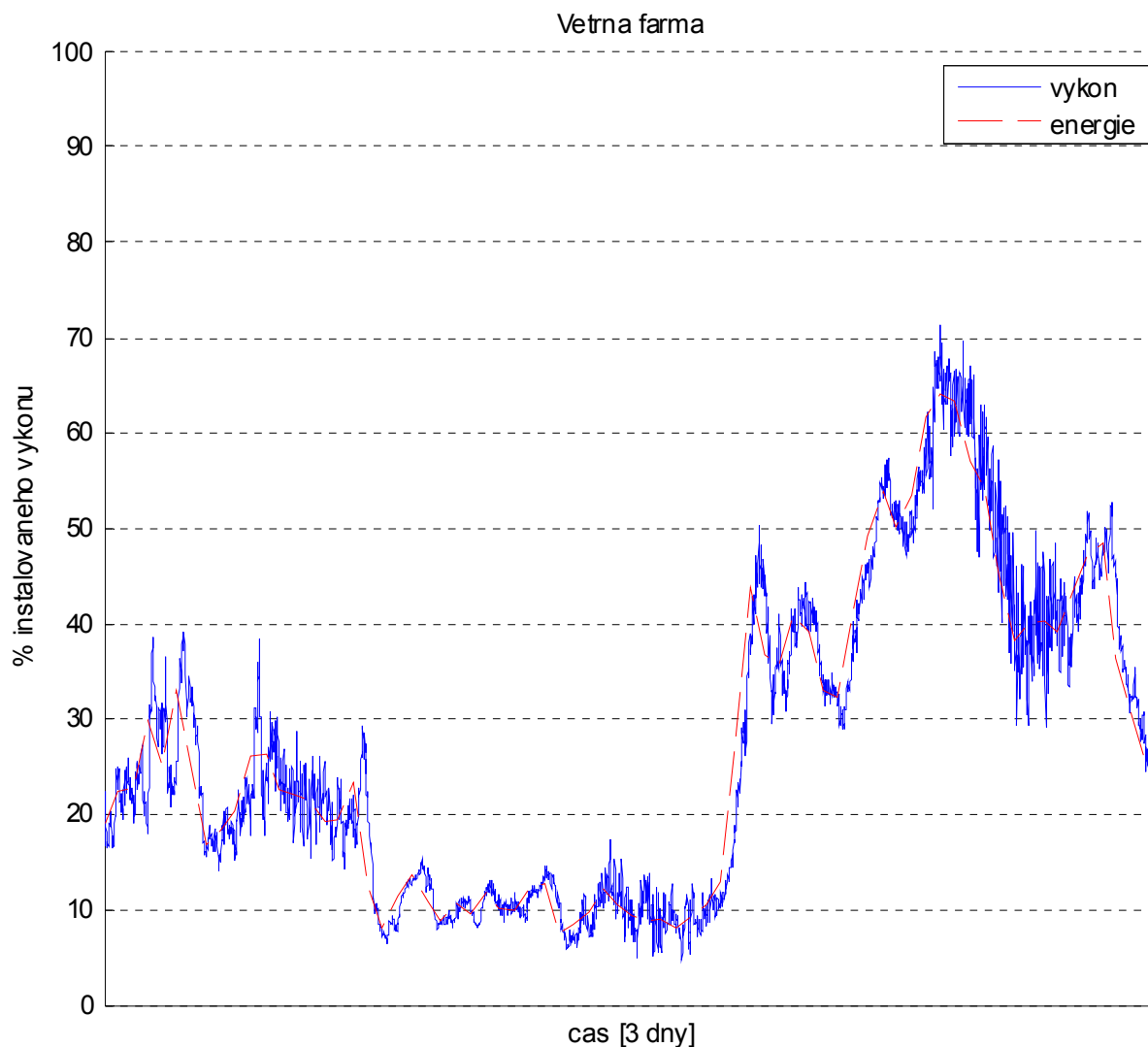


- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

# Typický průběh výroby ze slunce



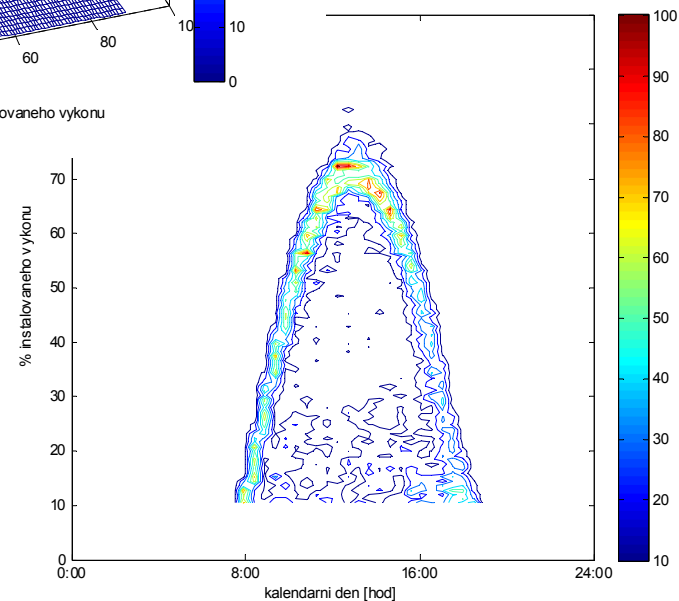
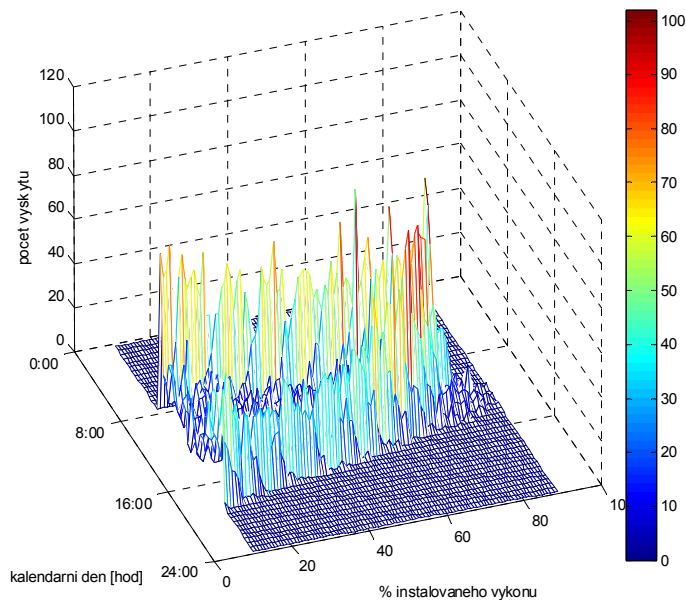
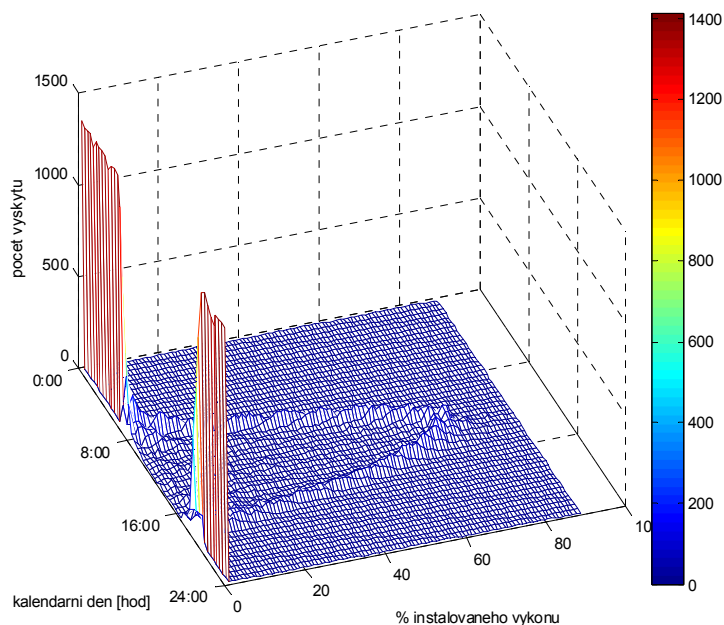
# Typický průběh výroby z větru



- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

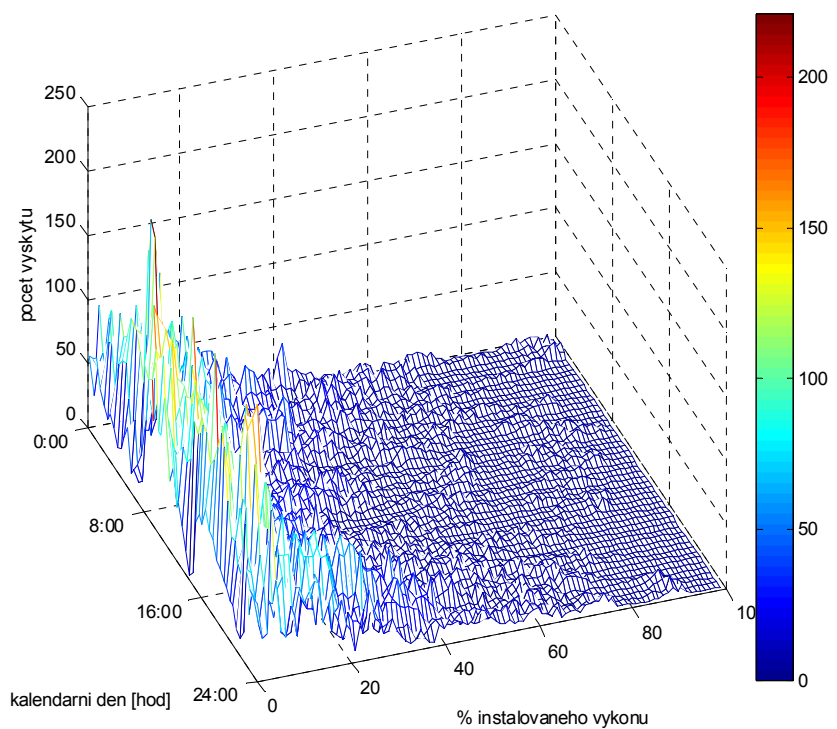
# Histogram výroby ze slunce

Letní období 2006, 2007, 2008 a 2009, jedna lokalita



- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

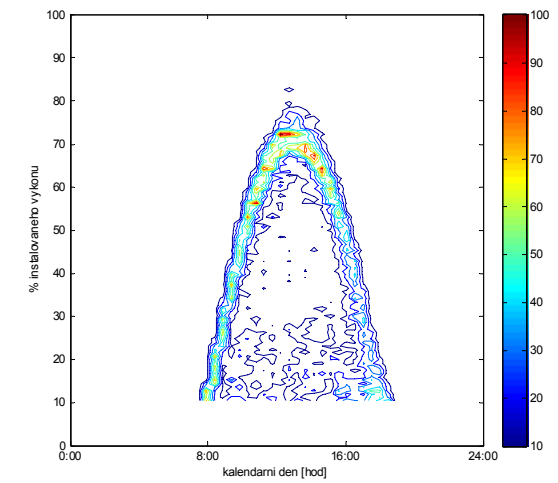
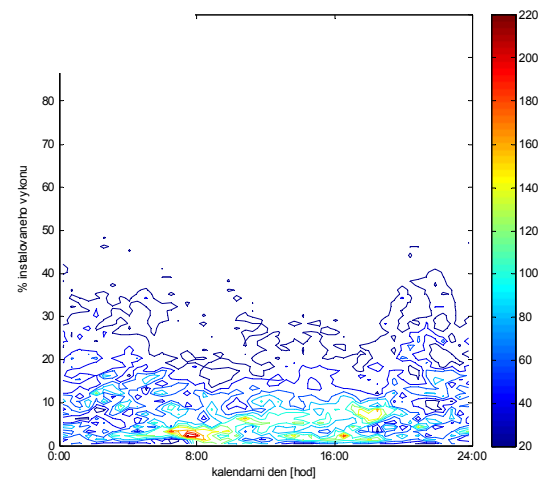
# Histogramy výroby z větru a slunce



Srovnání obou typů zdrojů

Větrná farma

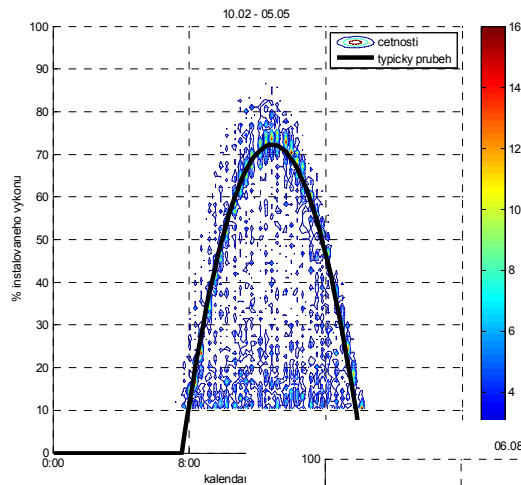
Fotovoltaický systém



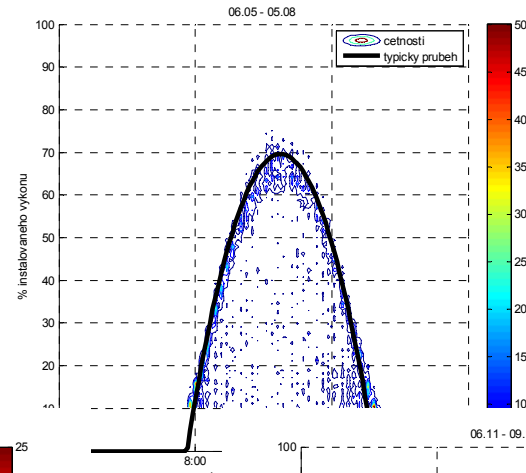
# Čtvrtletní diagram očekávané výroby ze slunce

- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

Modus - hodnota s nejvyšší četností výskytu

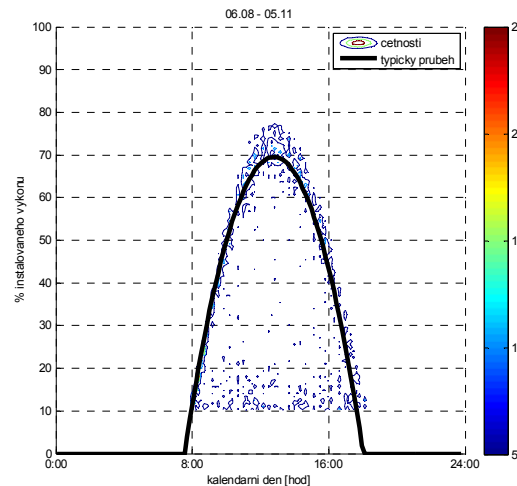


jaro

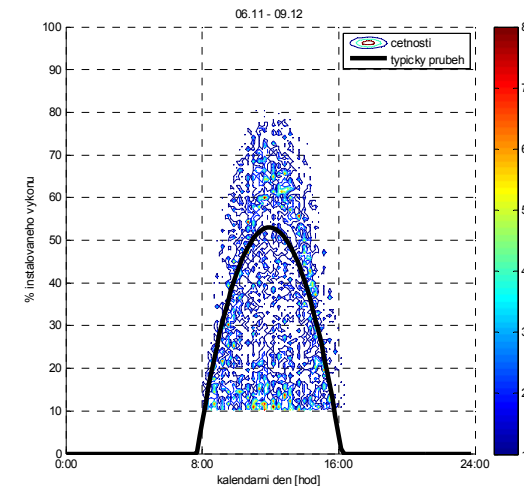


léto

podzim



zima

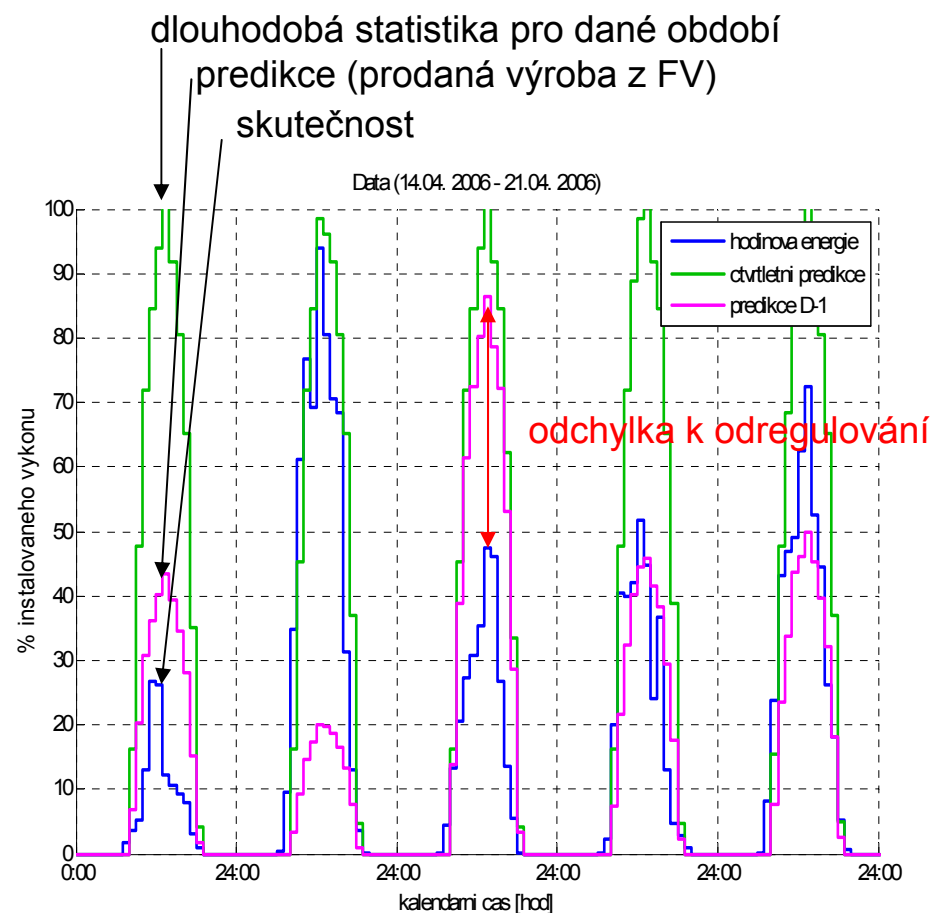


# Predikce výroby ze slunce na další den

Predikovanou výrobu prodáme, případnou odchylku necháme na ČEPS

## Předpoklady:

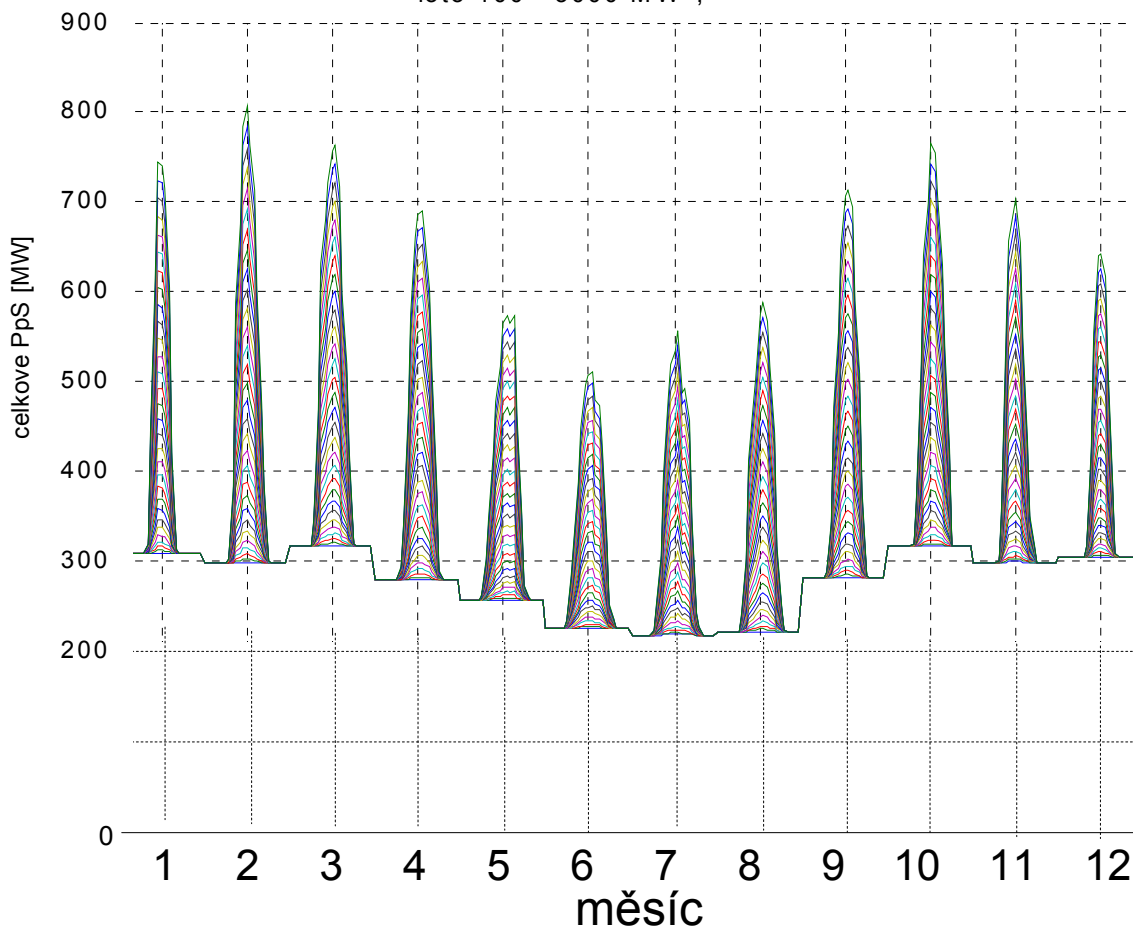
- počasí zítra bude v podstatě stejné jako dnes
- jako predikci na zítra použijeme čtvrtletní predikci, kterou upravíme dle skutečných naměřených hodnot dnes
- v případě, že nejsou k dispozici naměřená data, bude použita přímo čtvrtletní predikce



Kolik potřebuje mít ČEPS smluveného výkonu, aby odchylku snížil na únosnou míru?

# Požadovaná záloha sekundární regulace denní profil v jednotlivých měsících

technická potřeba regulační zálohy sekundární regulace  
foto 100 - 3000 MW ,



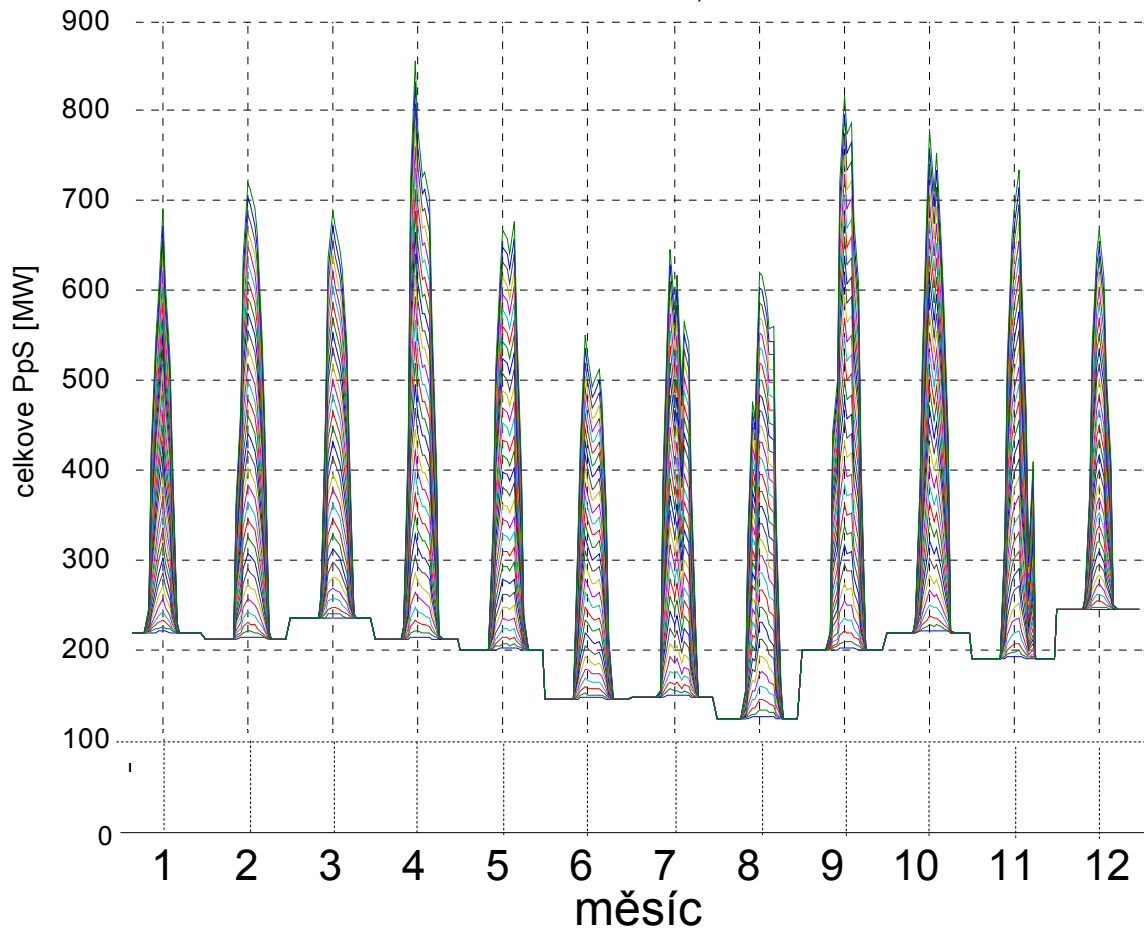
pouze s FV (100 – 3000 MW)  
bez větru

plánované rezervy  
pro podmínky roku 2009  
s FV existující do roku 2008



# Požadovaná záloha terciární regulace (+) denní profil v jednotlivých měsících

technická potřeba kladné terciální regulace  
foto 100 - 3000 MW ,



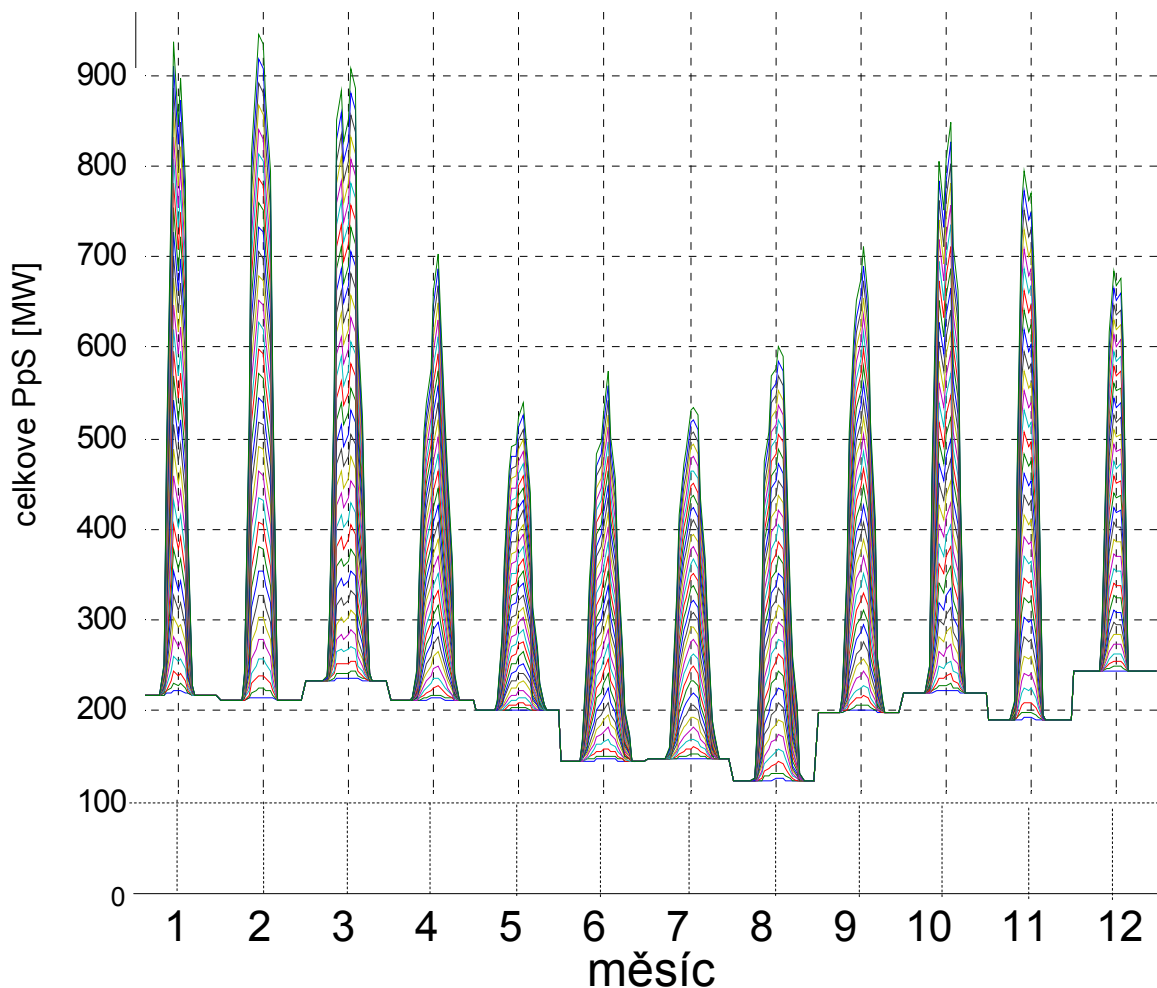
pouze s FV (100 – 3000 MW)  
bez větru

plánované rezervy  
pro podmínky roku 2009  
s FV existující do roku 2008

# Požadovaná záloha terciární regulace (-)

## denní profil v jednotlivých měsících

technická potřeba zapome terciální regulace  
foto 100 - 3000 MW

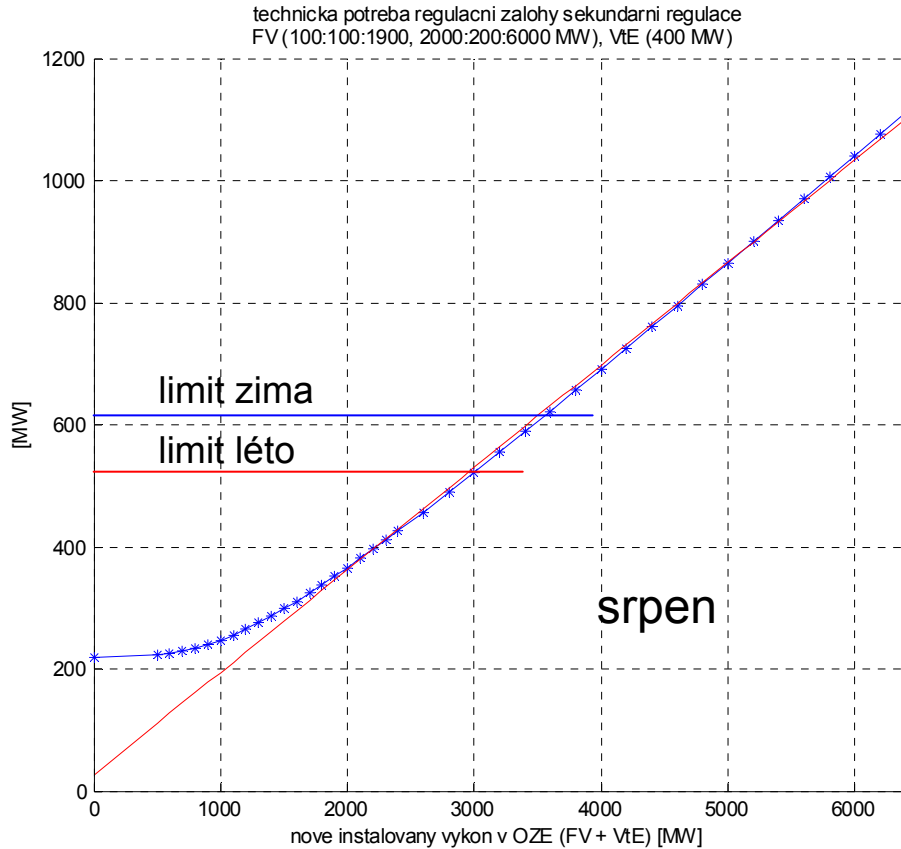


pouze s FV (100 – 3000 MW)  
bez větru

plánované rezervy  
pro podmínky roku 2009  
s FV existující do roku 2008

# Souvislost rezerv regulačního výkonu SR s velikostí instalovaného výkonu v OZE

- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

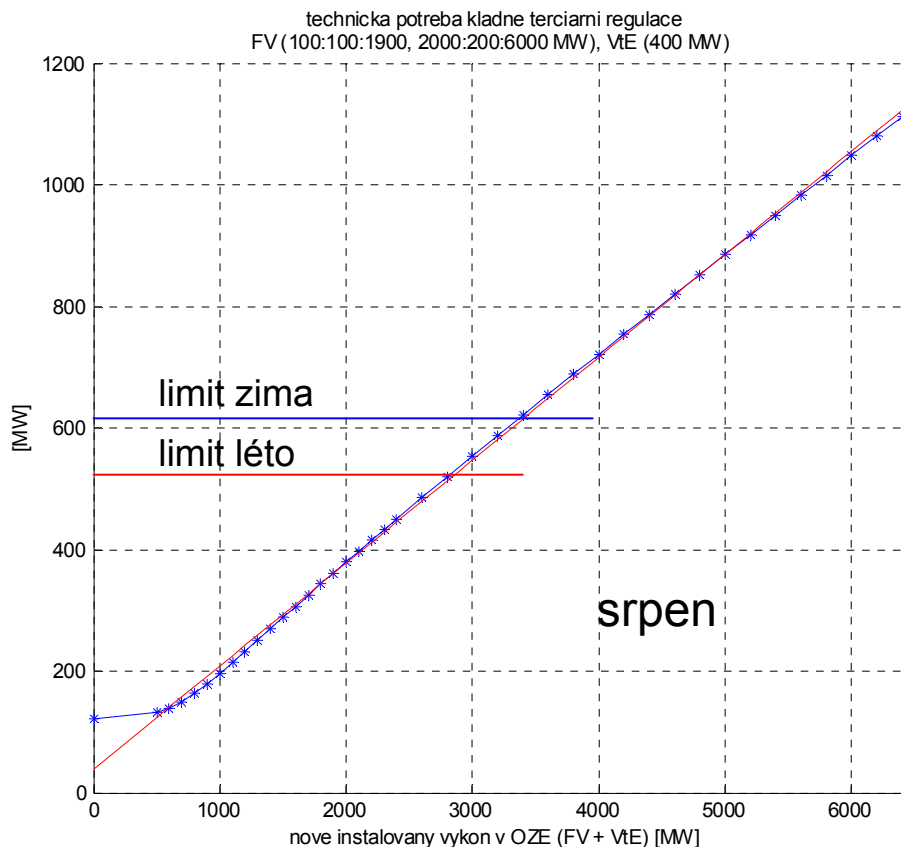


Záloha automatická sekundární regulace v poledne

Od hranice  $1400\text{ MW} = 1000\text{ MW} (FV) + 400\text{ MW} (VtE)$  instalovaného výkonu v OZE roste potřeba regulačního výkonu o cca 17 MW na 100 MW nově instalovaného výkonu

# Souvislost rezerv regulačního výkonu TR+ s velikostí instalovaného výkonu v OZE

- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE

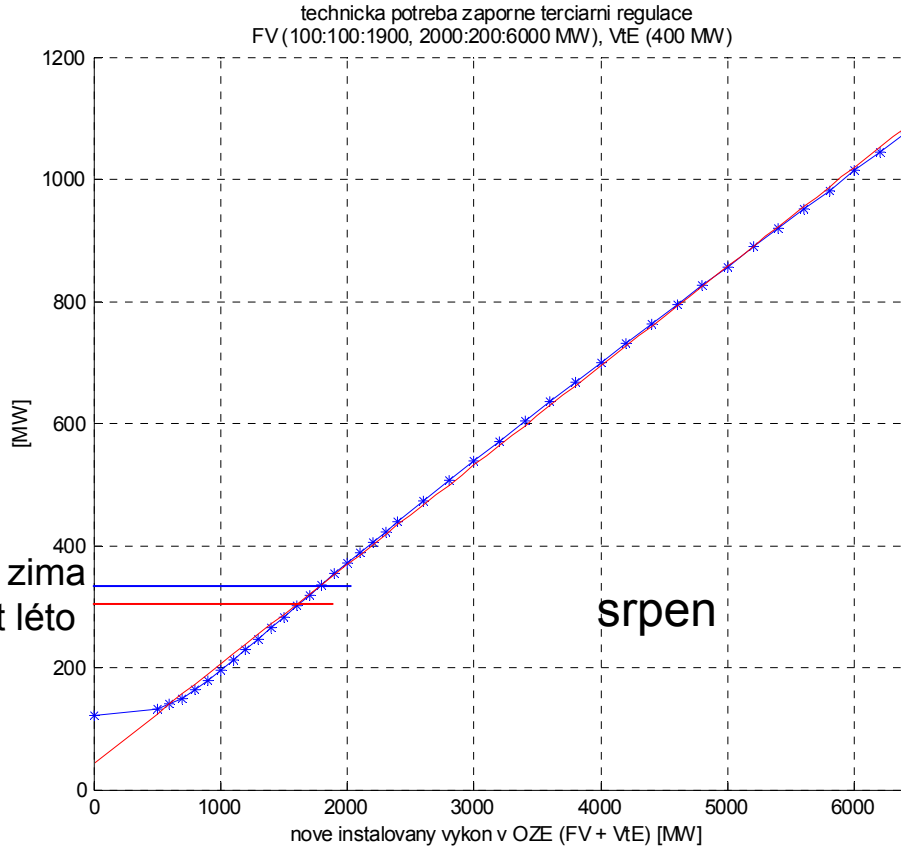


Záloha terciární regulace kladné v poledne

Od hranice  $700\text{MW} = 300\text{MW} (FV) + 400\text{MW} (VtE)$  instalovaného výkonu v OZE roste potřeba regulačního výkonu o  $17\text{MW}$  na  $100\text{MW}$  nově instalovaného výkonu

# Souvislost rezerv regulačního výkonu TR- s velikostí instalovaného výkonu v OZE

- jak pracuje ES
- model ES
- výroba z OZE



Záloha terciární regulace záporné  
v poledne

Od hranice  $700\text{MW} = 300\text{MW} (FV) + 400\text{MW} (VtE)$  instalovaného výkonu v OZE roste potřeba regulačního výkonu o  $16\text{MW}$  na  $100\text{MW}$  nově instalovaného výkonu

# Závěr

- Zvyšování potřeb regulačních záloh povede k nárustu jejich ceny, protože poptávka poroste rychleji než nabídka
- Instalace FV zdrojů o celkovém výkonu větším než cca 1200 MW (při současném provozu VtE 400MW) povede za současných podmínek provozování těchto zdrojů k vyčerpání stávajících regulačních záloh potřebných k udržení chodu soustavy na který jsme zvyklí
- Nebude garantováno plnění podmínek provozu pro propojenou evropskou síť
- Podmínky provozování FV dnes = **nedomyšlený způsob užití perspektivního zdroje**

# Možné cesty omezení rizik

- Zvýšení regulačních rozsahů stávajících regulovatelných zdrojů a jejich větší zatěžování
- Postavení nového regulovatelného zdroje
- Využití možnosti ovládnání spotřeby
- Ovládnání výroby z OZE
- Preferovat FV zdroje malého výkonu a nekoncentrovat je v jednom místě
- Instalace "akumulátorů", např. nové vodní přečerpávací elektrárny (ideální řešení)
- Nepřipojovat FV, resp. neřiditelné zdroje do elektrizační soustavy (extrémní řešení)
- Kombinace uvedených možností