



Lab for Advanced Power Systems



Metody a technická řešení pro rozvoj bezpečných integrací OZE do ES ČR

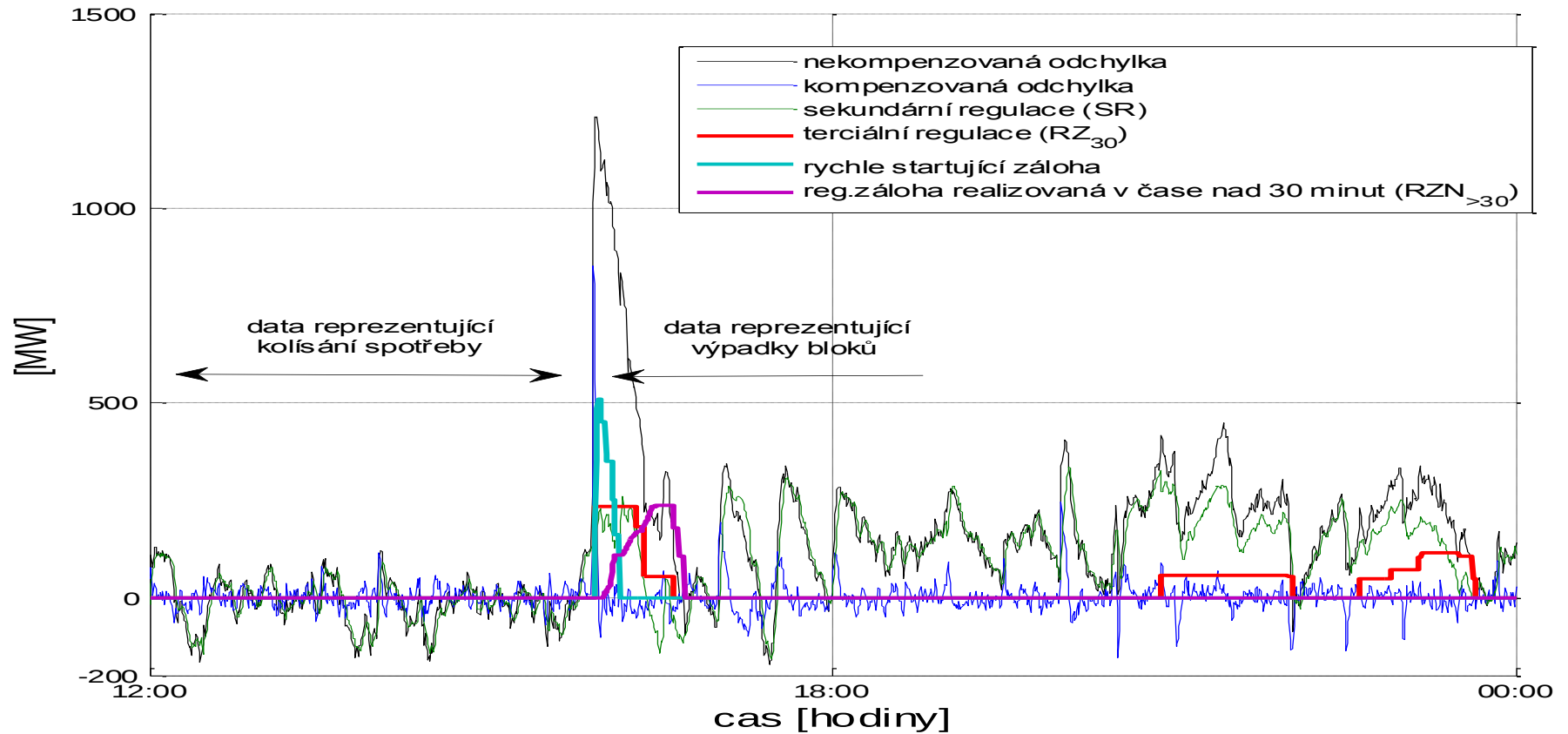
*Eduard Janeček
Centrum NTIS - LAPS
Západočeská univerzita v Plzni*

- Premisa: ČR v budoucnu průmyslový stát
- Důsledek: Potřeba zajistit systémové zdroje (nejspíše JE a sítě pro transport mezi systémovými zdroji a průmyslovým centry (i ostatními většími především obytnými centry))
- Bezpečná integrace OZE je doplněk výše uvedeného

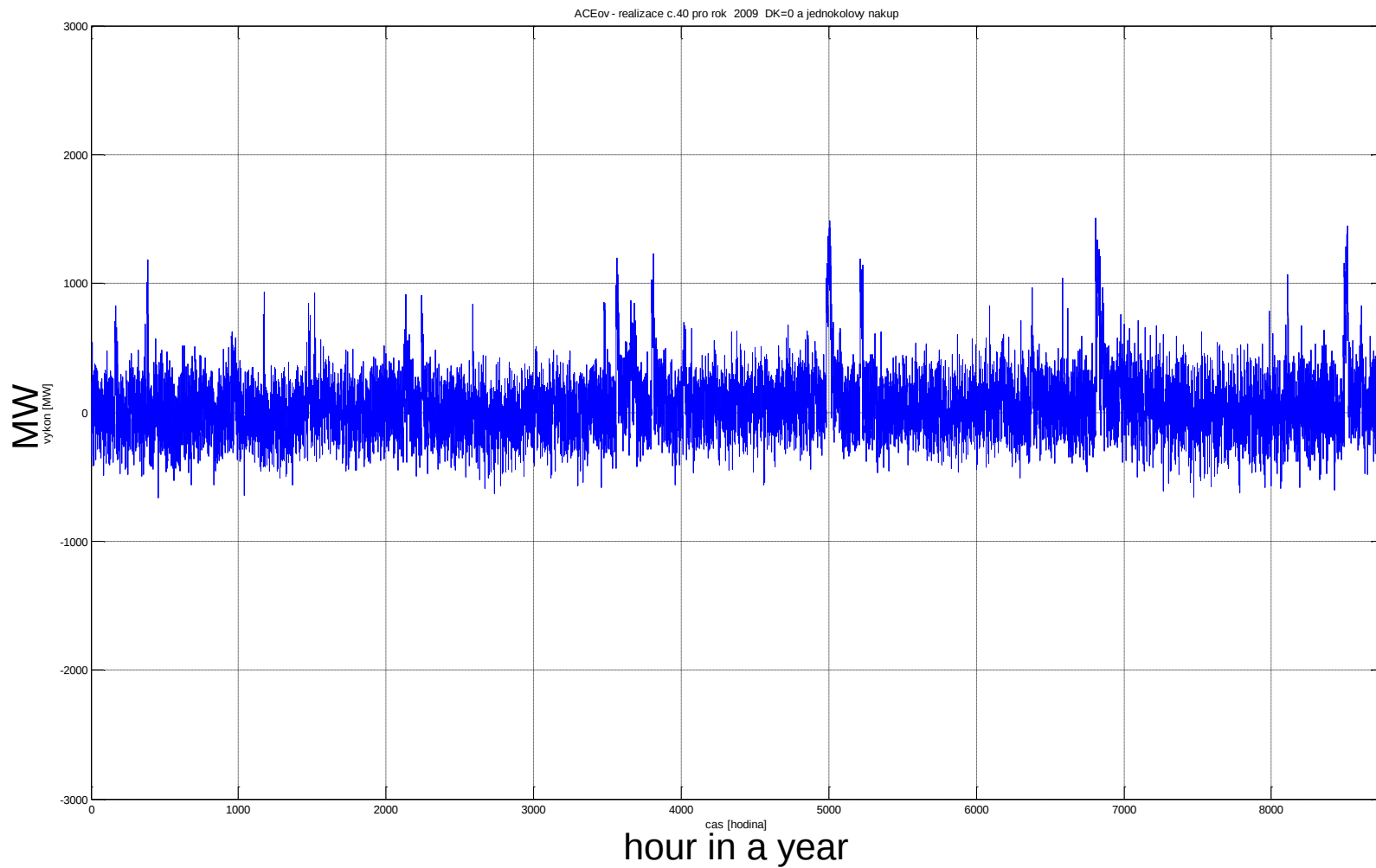
Přenosová síť	
Dnes	V budoucnosti
Homogenní Výroba – Spotřeba	ENTSO-E: nehomogenní Výroba – Spotřeba
PPS - bilanční rovnováha	PPS - relevantní i tranzitní bezpečnost
Aku (část – D. Stráně, Dalešice)	Aku (? celá přečerp. + kaskáda)
Kontrola bezpečného tranzitu	Zajištění bezpečného tranzitu

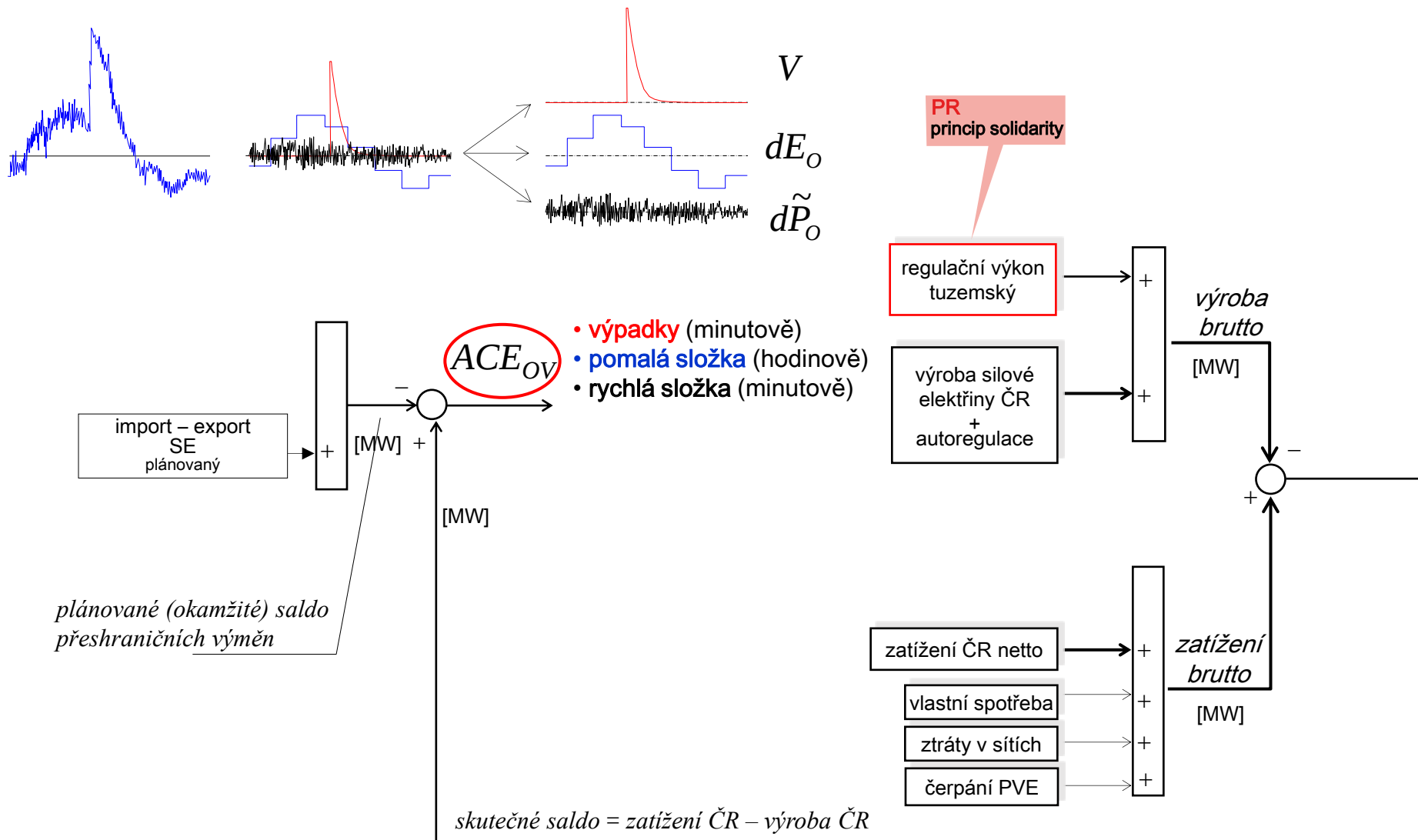
Distribuční síť	
Dnes	V budoucnosti
HDO řízení spotřeby cca 600 MW	Koordinace decentr. Spo_Výro_Aku
Optimalizace (přečerp. + kaskáda)	Povelování decentr. (priority, parametry)
Řízení bez predikce a zpětné vazby	Zpětnovazební prediktivní řízení
HDO akumulární, hybridní teplo	Řízená Spo_Aku > 1000MW (teplo i elektr.)
ČR výhodně akceptován tarif: ovládání spotřebičů a za to sleva v ceně.	

- Bezpečný provoz ES a) Bilanční rovnováha
b) Síťová bezpečnost
- ACE Bilanční rovnováha : TSO prostřednictvím – PPS: primární, sekundární, QS, terciární - MZ
- Dnes PPS – fluktuace: na blocích část točivého výkonu, výpadky: z Aku = přečerpávací vod. Elektrárny (Dlouhé Stráně, Dalešice, Vltavská kaskáda)
- V budoucnu PPS – „vytlačení točivého výkonu“, k vlastním Aku potřeba rychle startující zdroje (plyn)
+ poskytování PPS od decentrálních Spo_Aku_Výr
- Řízení cenou odchylky a koordinací hráčů formou vymezení hřiště bezpečných odchylek (P_Q oblasti bezpečných injekcí)
- Potřeba koordinace: platby dnes (v USA za výkon zvětšující odchylku frekvence, v EU – za odchylku od ACE = 0)

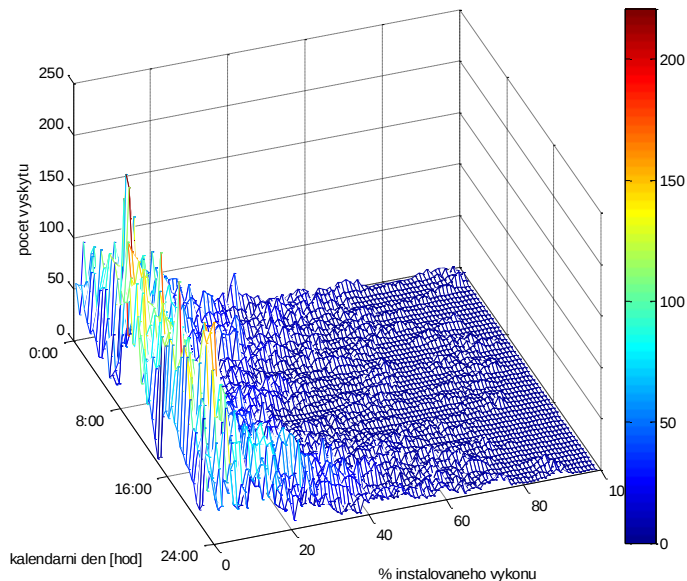


$$ACE_{ov}$$

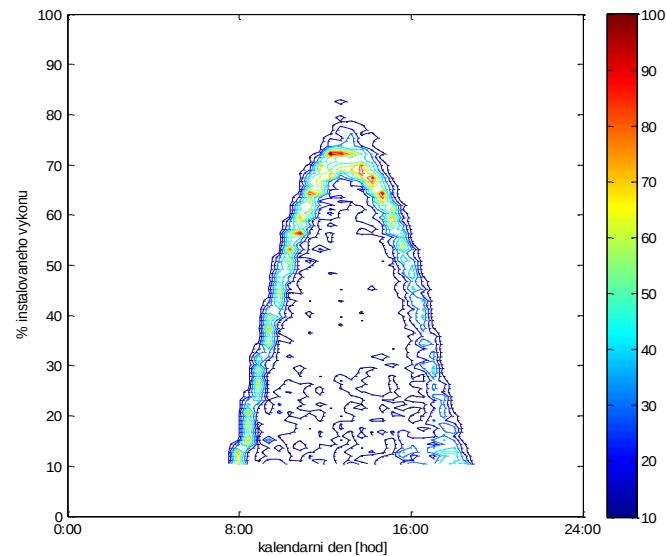
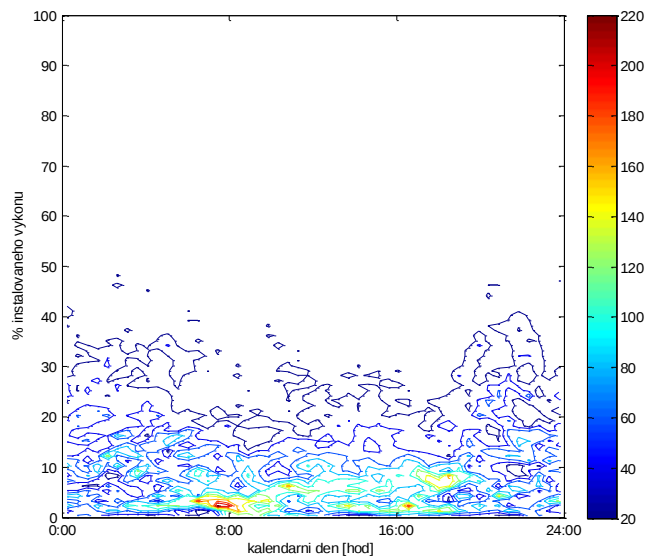
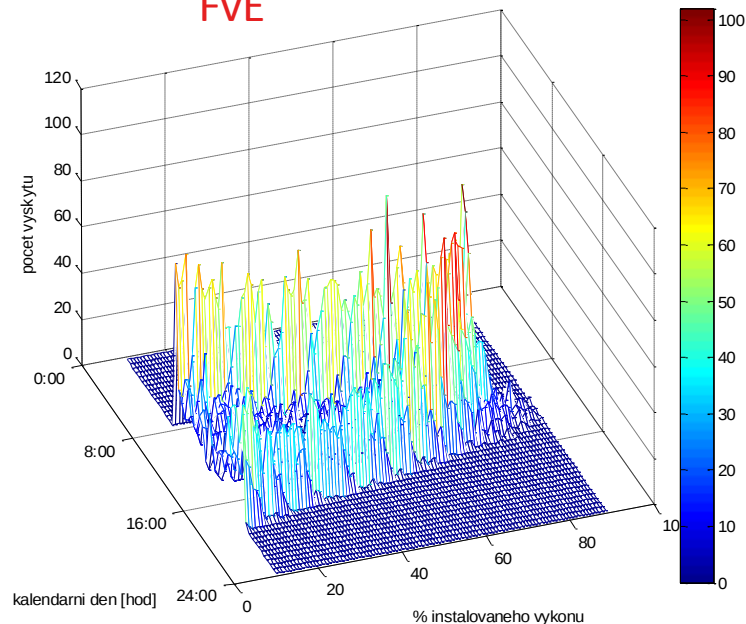




VtE

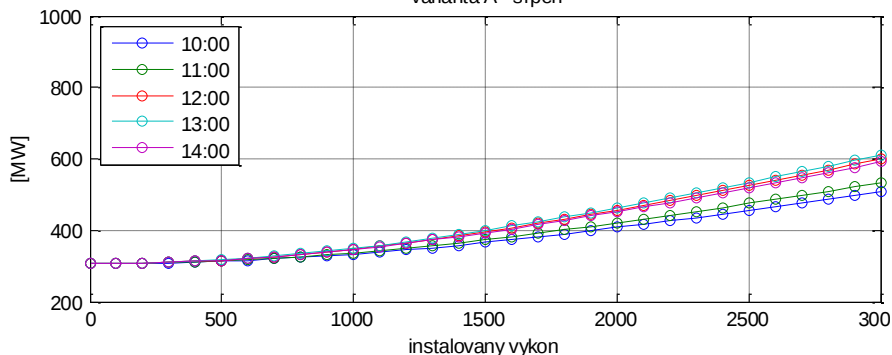


FvE

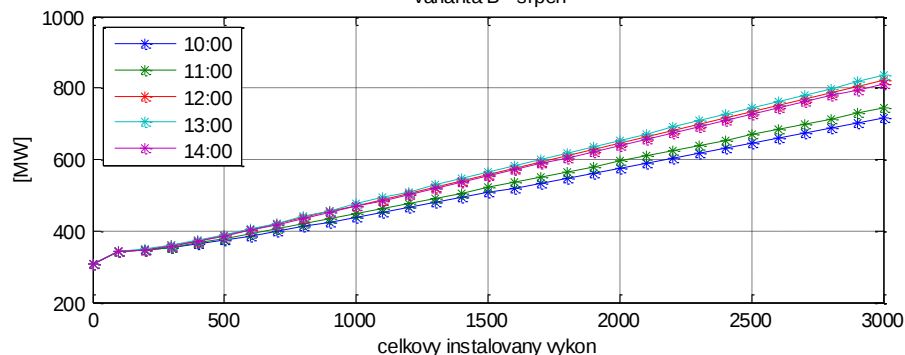


Porovnání technických potřeb RZSR s a bez autoregulace.

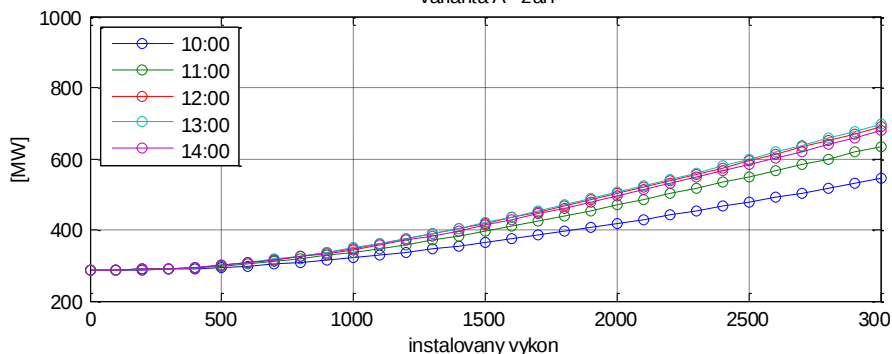
technická potřeba regulační zálohy sekundární regulace
varianta A - srpen



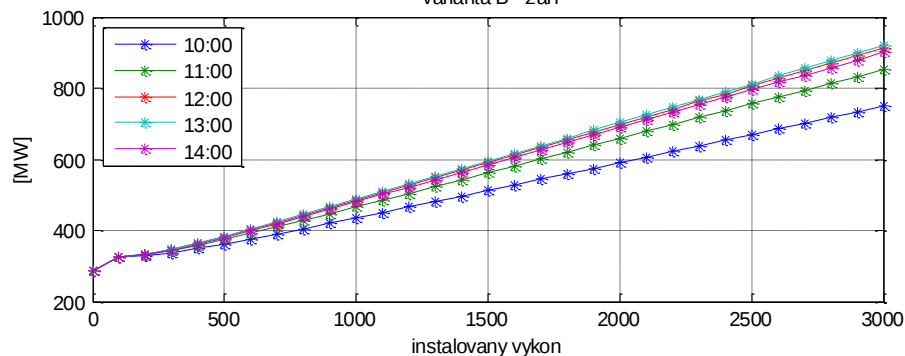
technická potřeba regulační zálohy sekundární regulace
varianta B - srpen



technická potřeba regulační zálohy sekundární regulace
varianta A - zari



technická potřeba regulační zálohy sekundární regulace
varianta B - zari



Variant A: ČEPS odregulováá pouze ACE_o a odchylku predikce výroby OZE (autoregulace ČEZ,...)

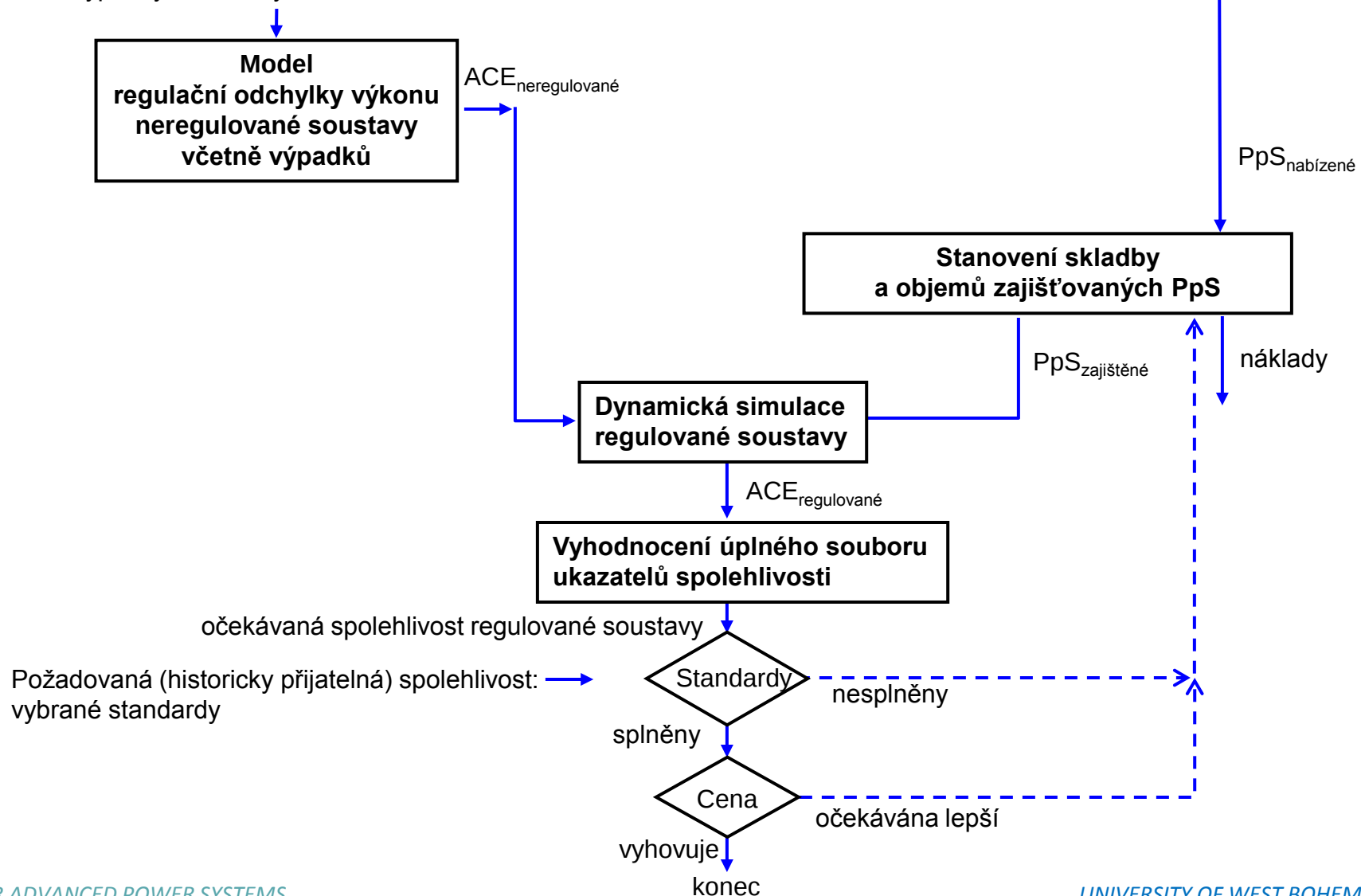
Variant B : ČEPS odregulováá ACE_o a kolísání výroby OZE

Historie:

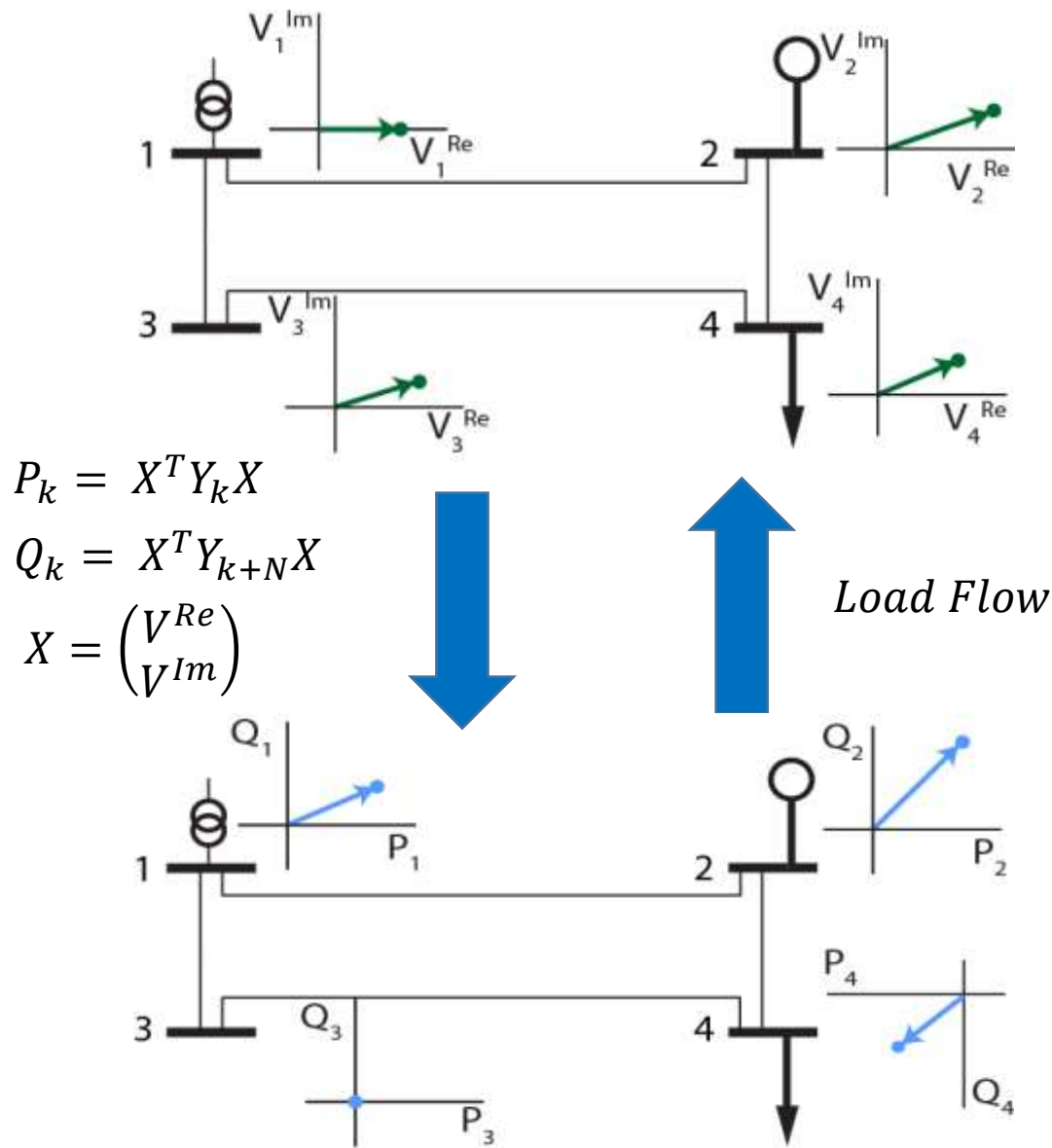
regulační odchylka výkonu (ACE)

regulační výkon (PpS)

výpadky bloků s výkonem $\geq 200\text{MW}$



- Bilanční bezpečnost TSO (ČEPS):
 - ACE v mezích (výkon i práce)
 - Primární, sekundární, terciální regulace a zálohy
- Síťová bezpečnost
 - Uzlová napětí jsou v povoleném rozsahu
 - Zatížení prvků sítě nepřekračuje mezní hodnotu

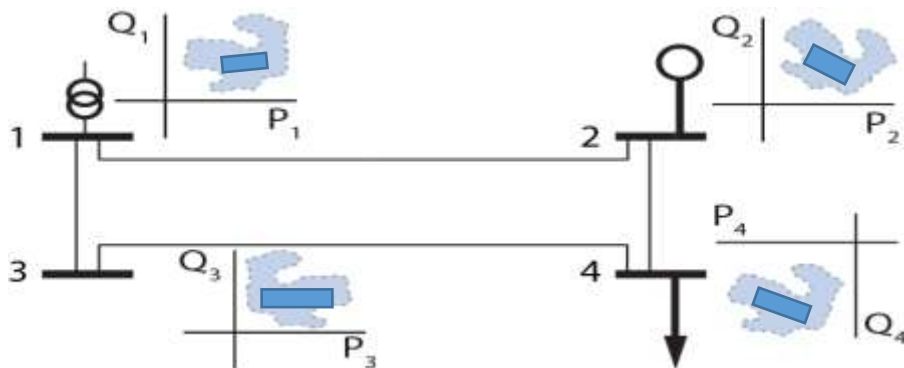
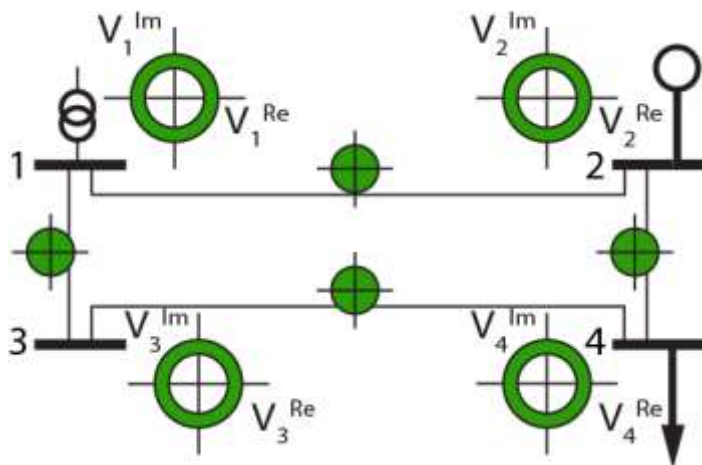


Pomocí WAMS získáme pro jednotlivé časové řezy **uzlová napětí** a **fázory proudu**.

Bezpečnost uzlových napětí a zatížení prvků lze jednoduše ověřit.

Z uzlových napětí lze dopočítat **injektované výkony**.

Z injektovaných výkonů lze pomocí metody Load Flow vypočítat **uzlová napětí**.

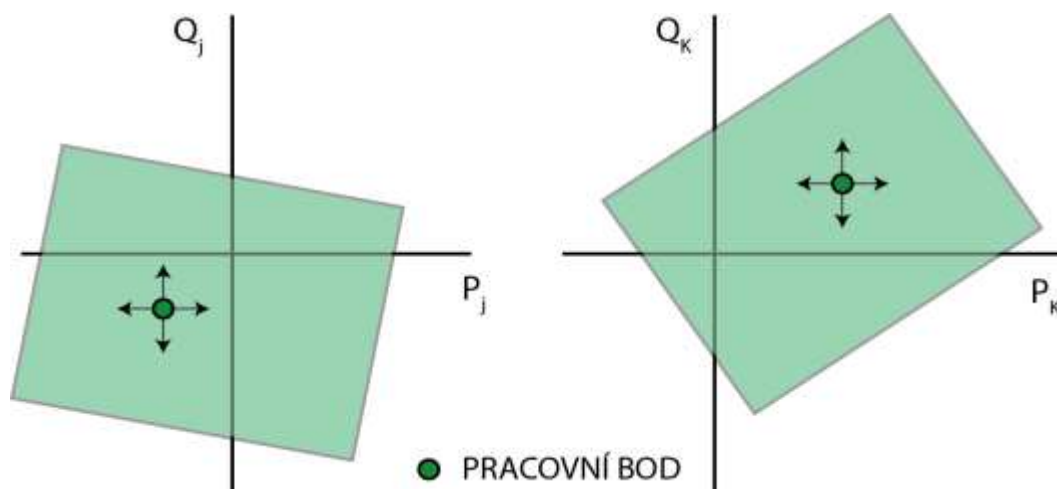


Síťová bezpečnost je zajištěna, pokud **uzlová napětí** a **toky** na vedeních leží v daných (zelených) intervalech.

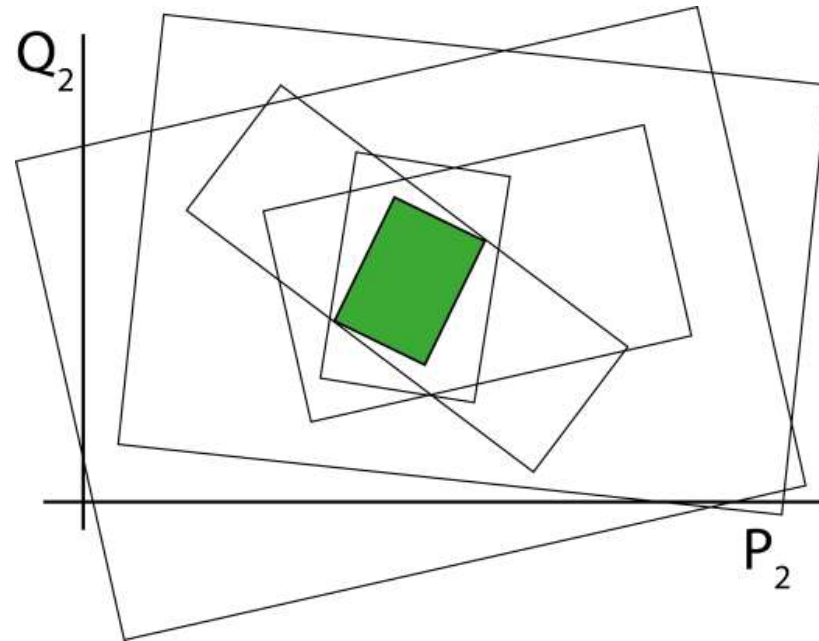
Standardními metodami **nelze** určit odpovídající **intervaly bezpečných uzlových injektovaných výkonů**.

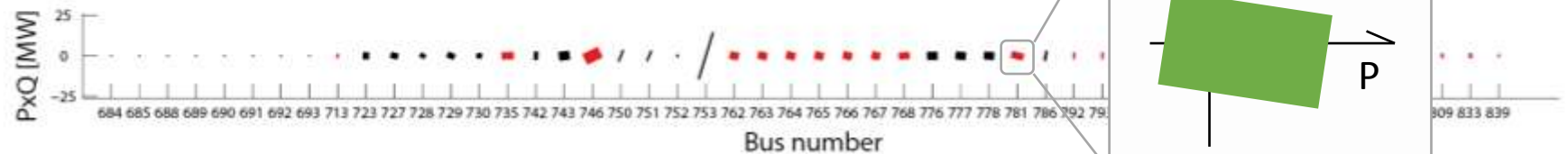
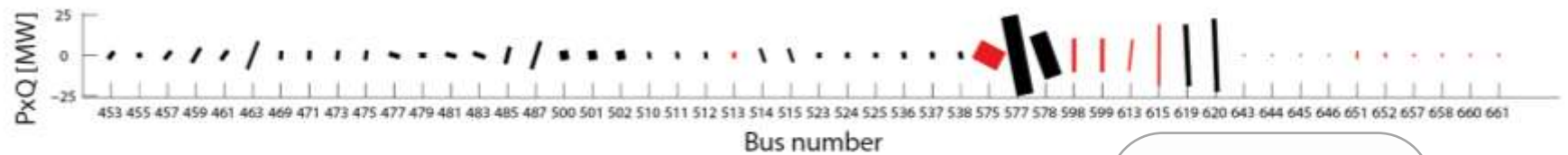
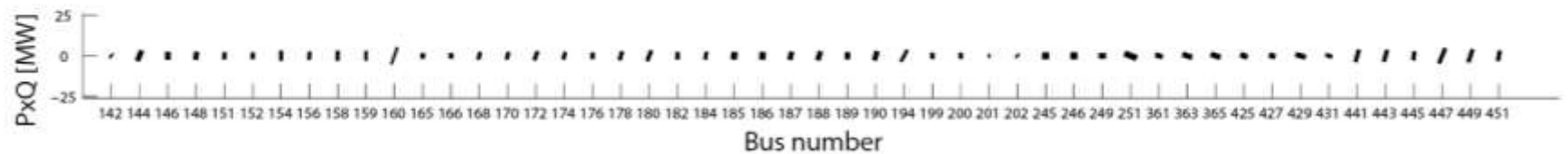
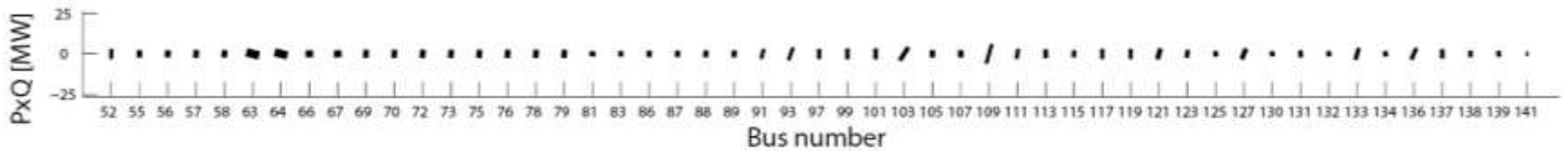
Pro **stanovení intervalů** bezpečných uzlových injekcí lze použít **metoda ISI**.

- Výstupem ISI je sada intervalů bezpečných injekcí pro všechny uzly v síti
- Operátor může nezávisle zvolit libovolnou kombinaci injekcí uvnitř ISI a má zaručenou N-0 bezpečnost výsledné konfigurace



- Metoda ISI pracuje nad kritériem N-0
- Tuto metodu lze obecně rozšířit pro práci nad kritérii typu N-1





Computing Intervals of Secure Power Injection

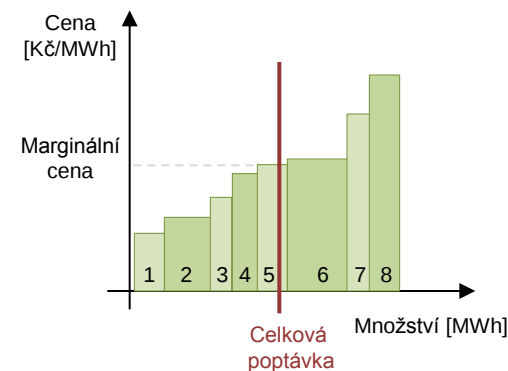
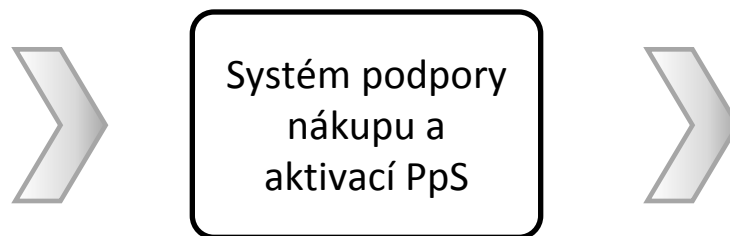
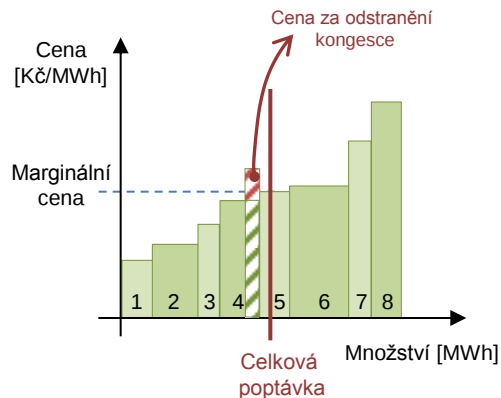
D. Georgiev * E. Janeček * P. Voráč *

** New Technologies for the Information Society European Centre of Excellence, Faculty of Applied Sciences, University of West Bohemia in Pilsen, Univerzitní 8, Pilsen 30614, Czech Republic.*
georgiev@kky.zcu.cz, janecek@kky.zcu.cz, vorac@ntis.zcu.cz

Abstract: Existing tools used in many power system operations evaluate individual scenarios for power injection and network configuration but fail to consider nearby regions in the operating space. Such tools may lead to market transactions, preventive actions, or corrective actions that are nominally efficient but poor in general. Herein the foundations of an interval method are introduced. The presented results include an algorithm defined within a tractable optimisation framework that computes maximal power injection sets containing power injection profiles that are necessarily secure. The method is demonstrated on a simple 4 bus test system as well as on a medium sized IEEE 30 bus test system.

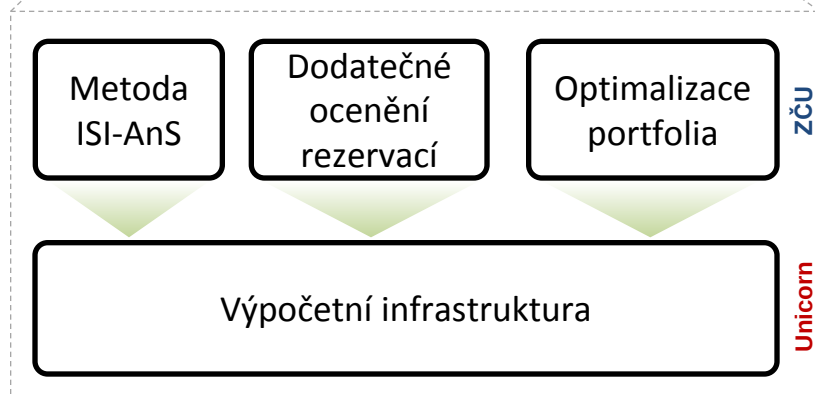
Stanovení rozsahu PPS a jejich ocenění zohledňující požadavky síťové i bilanční (ANSVAL):

- Trvání a cíle projektu : 07/ 2014 - 12/2016
- Metoda pro stanovení intervalů bezpečných injektovaných výkonů
- Metody penalizující nabídky rezervací PpS z pohledu síťové bezpečnosti
- Vývoj algoritmů a nástrojů podpory rozhodování pro nákup a aktivaci PpS zohledňující jak bilanční tak i síťová kritéria



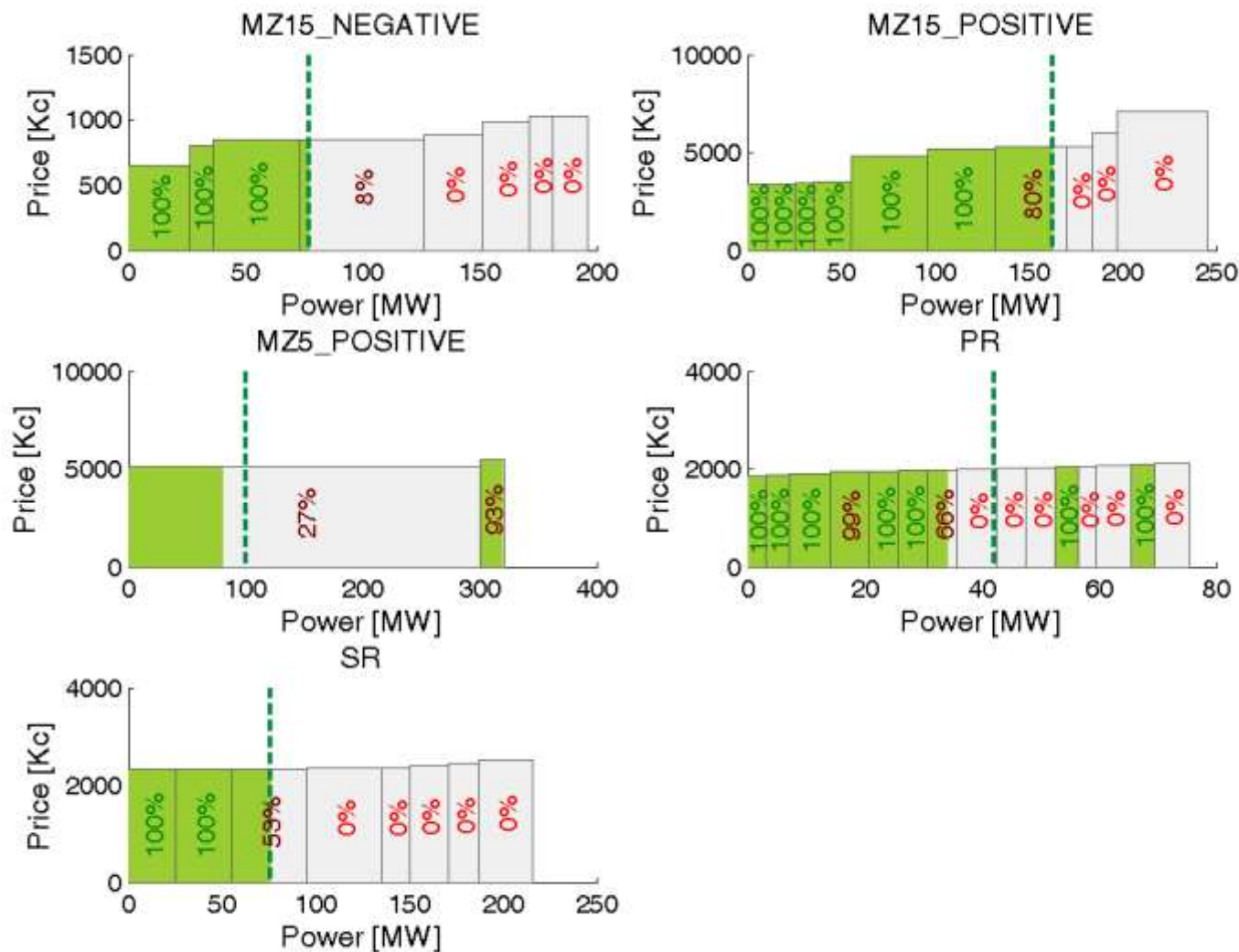
Vlastnosti portfolia

- dostatečné ✓
- bezpečné ✗
- cenově optimální ✗



Vlastnosti portfolia

- dostatečné ✓
- bezpečné ✓
- cenově optimální ✓



DATA



Obchodní
data (PpS)



Očekávaný provozní
stav přen. síť



Denní příprava
provozu

METODY/MODELY

Modelovací nástroje
elektrických sítí

Intervaly bezpečných
injektovaných výkonů

Optimalizace
portfolia PpS

INFORMACE

Validace modelu
přenosové sítě

Bezpečnostní intervaly
Injektovaných výkonů

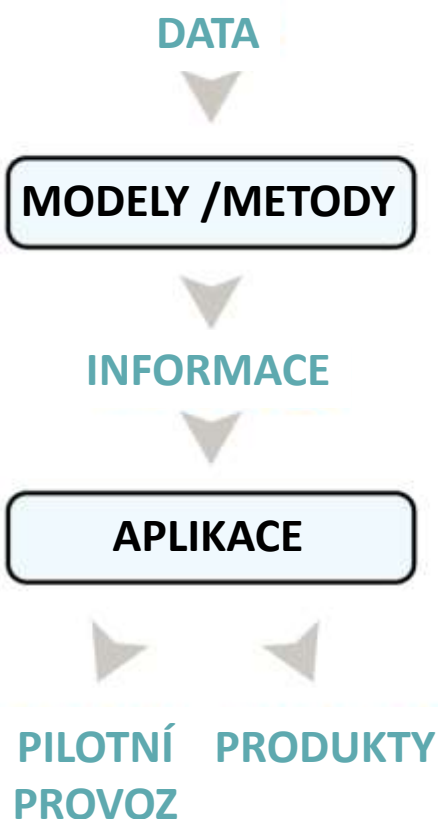
Lokalizovaná
omezení nabídek
rezervací PpS

Optimální portfolio
nabídek rezervací
PpS

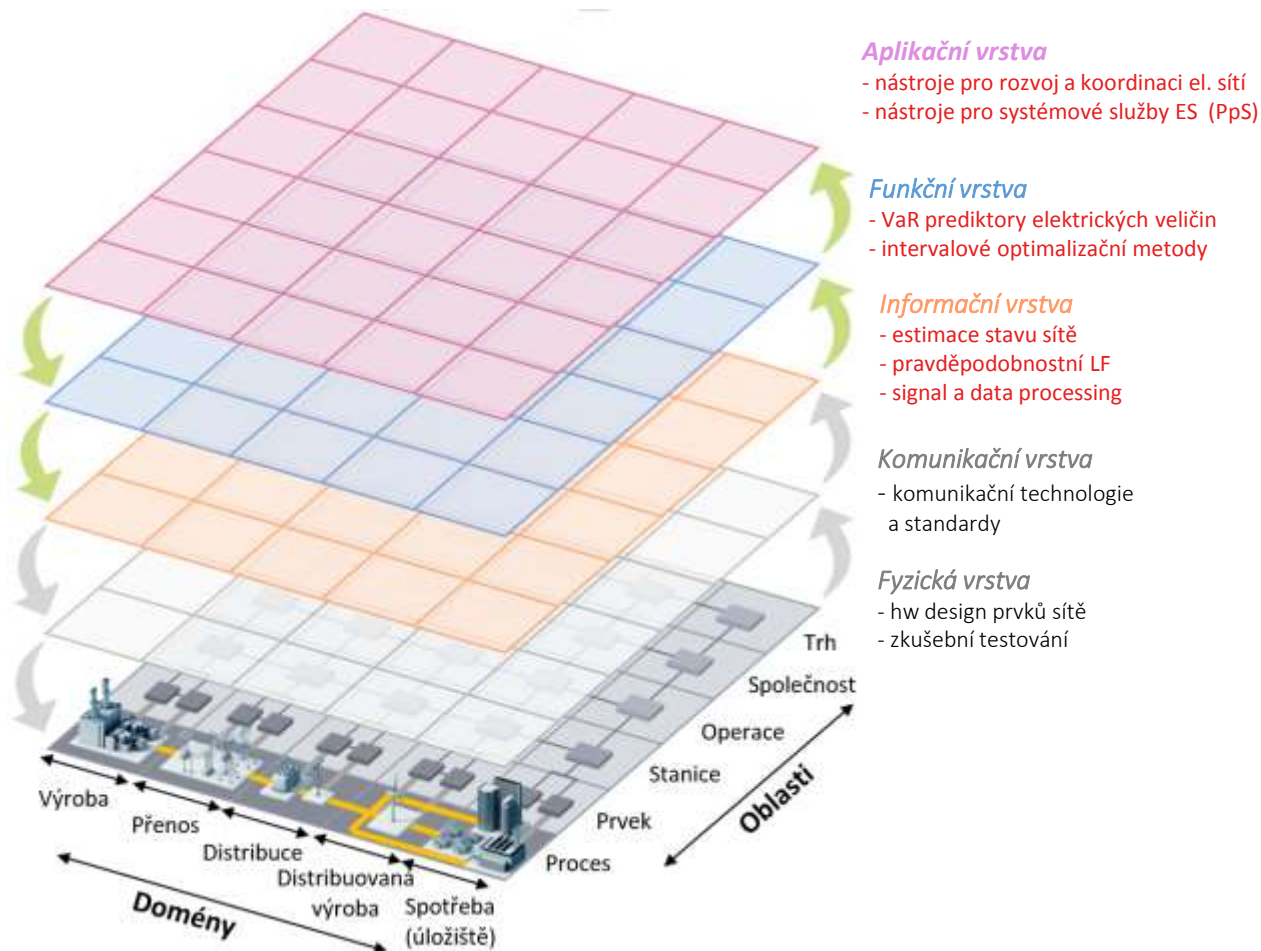
APLIKACE

Podpora rozhodování
pro zajištění PpS

Přístup LAPS

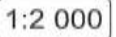


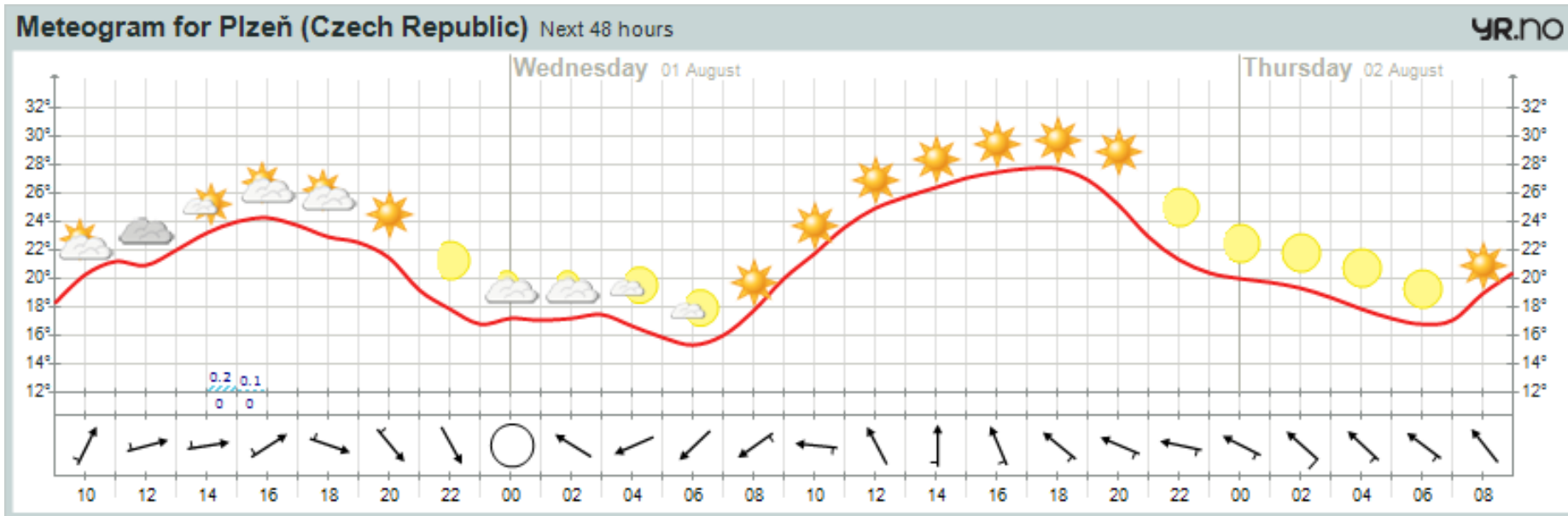
Zaměření SmartGrid



Projekt: Bezpečná integrace OZE do elektrizační soustavy (BIOZE)

- Trvání a cíle projektu: 01/ 2011 - 12/2015
- Vývoj softwarových nástrojů a aplikací pro bezpečnou integraci obnovitelných zdrojů elektrické energie do elektrizační soustavy





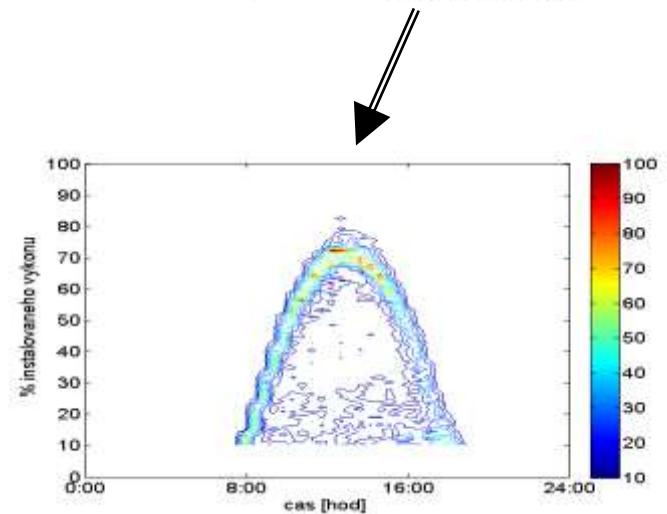
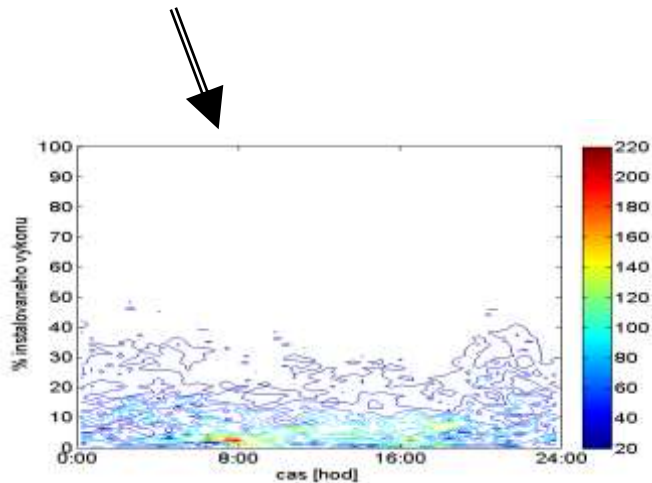
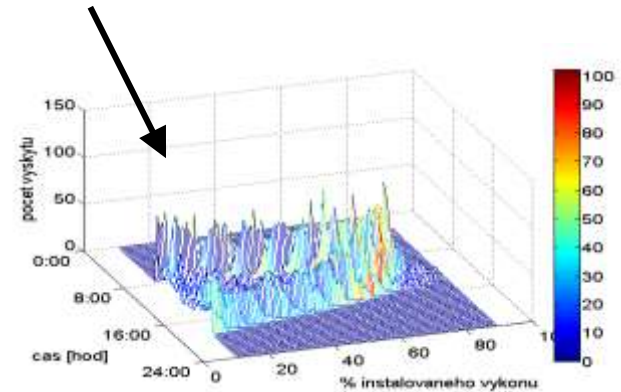
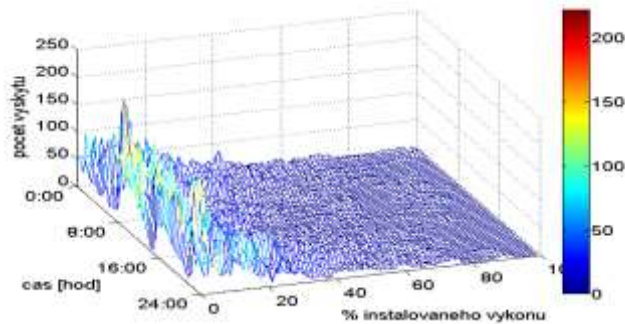
Zdroj: yr.no

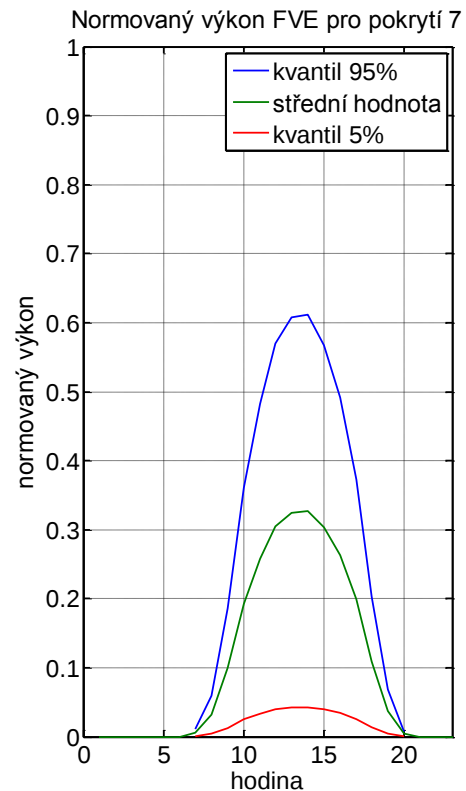
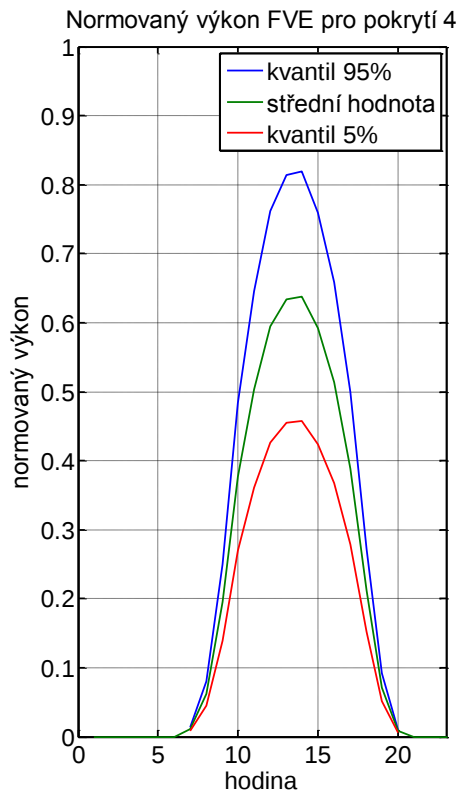
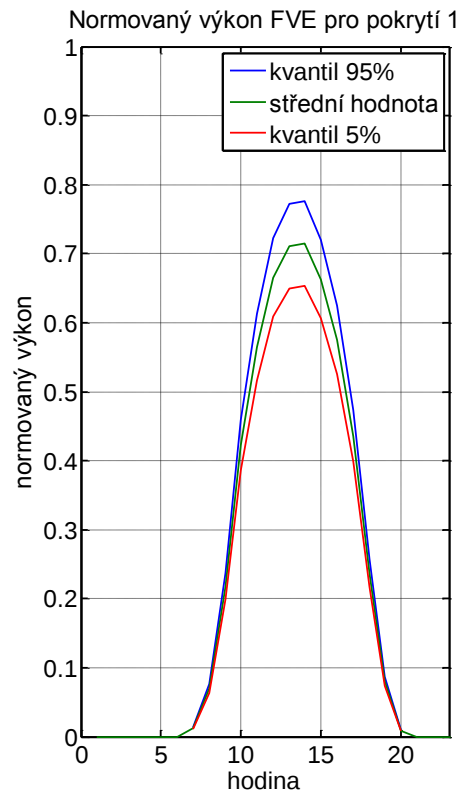
- Hlavní data:

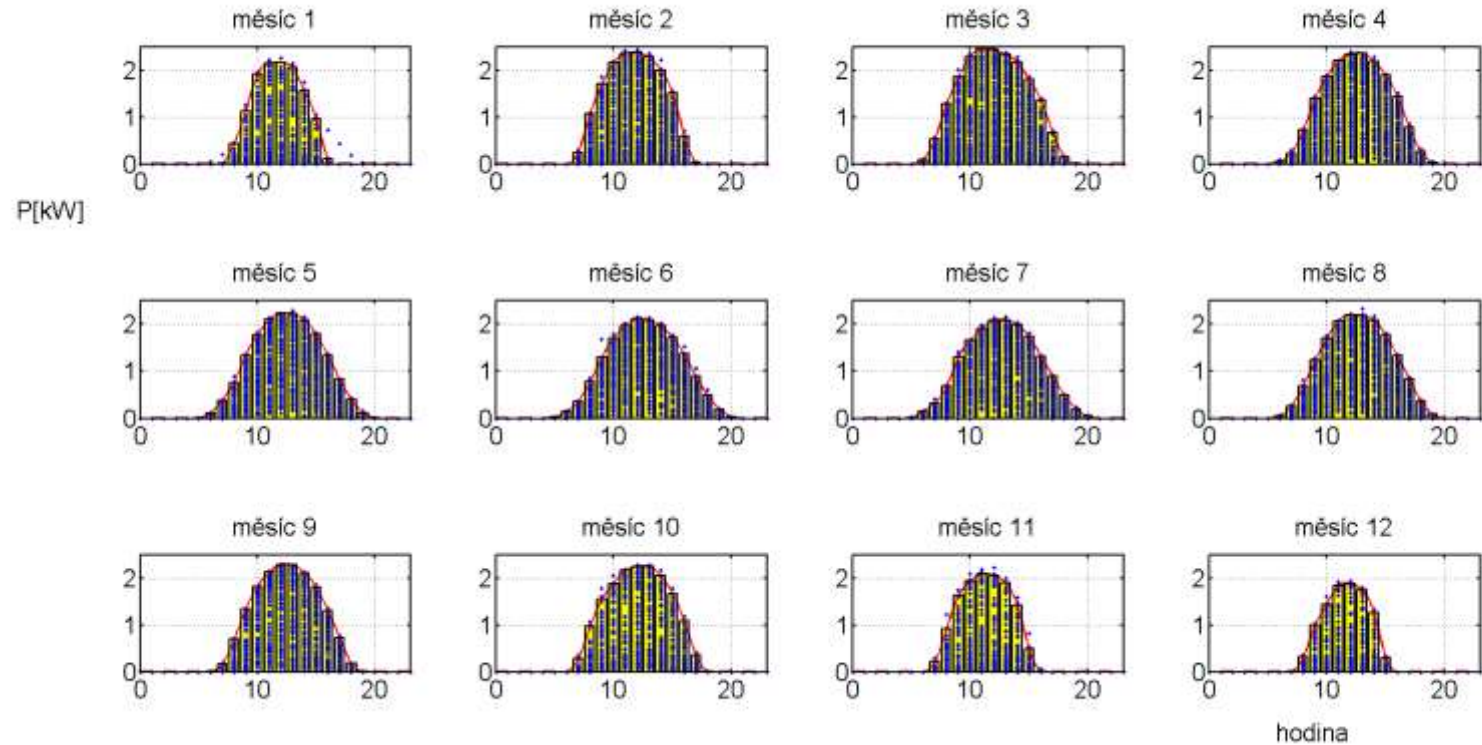
Třída (stav) oblačnosti (pokrytí oblohy), třída (stav) větrnosti, teplota

- Model **denního chodu** jednoho zdroje
 - Stavy přiřazené k třídám modelů (8 stavů pokrytí oblohy, ...)
 - **Markovský model přechodu mezi stavy**
 - **Model setrvání ve stavu** s fázovým rozdělením pravděpodobnosti (zahrnuje exp., Weibull, Cox, ...)
 - **AR proces generování veličiny (výroba energie) v rámci daného stavu**
- Model **soudobosti výrob** a **spotřeb** mezi třídami zdrojů i spotřeb - *Časová a prostorová korelace*

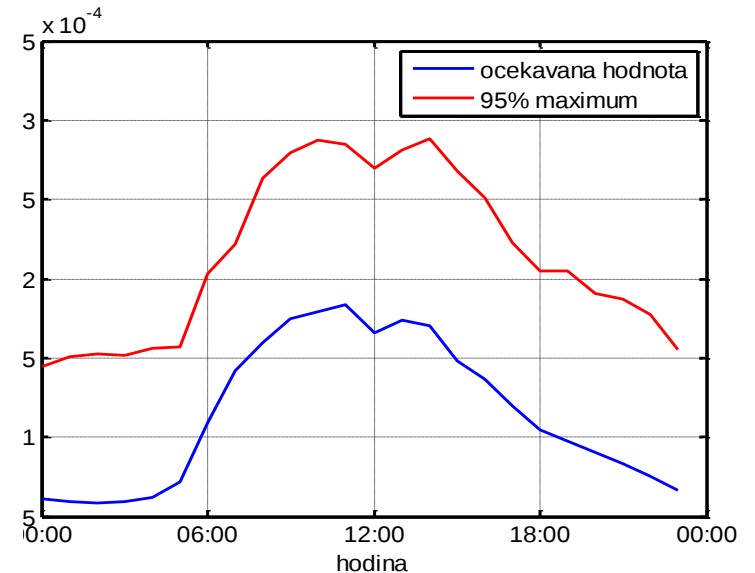
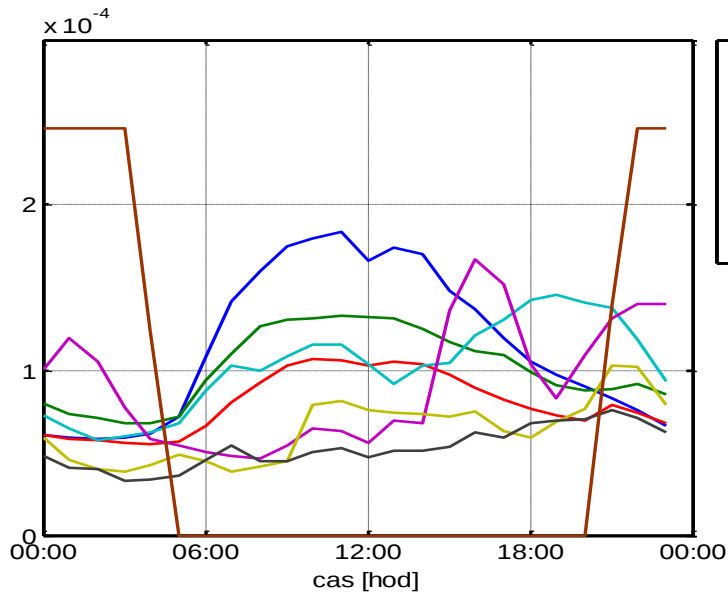
- Idea **modelování** obnovitelného zdroje **histogramem** (četnosti) výroby v daných stavech





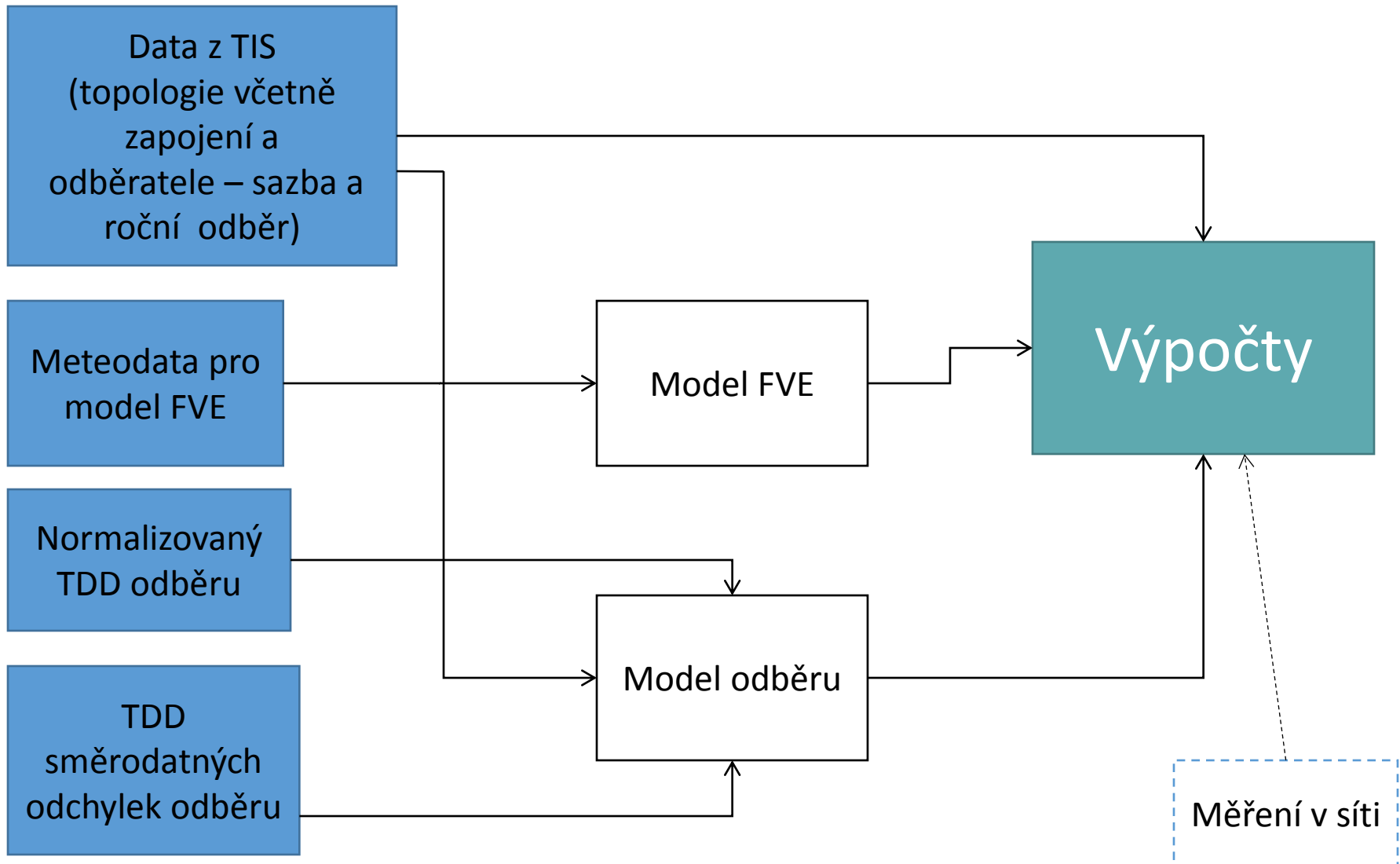


Modely odběratelů v NN sítích

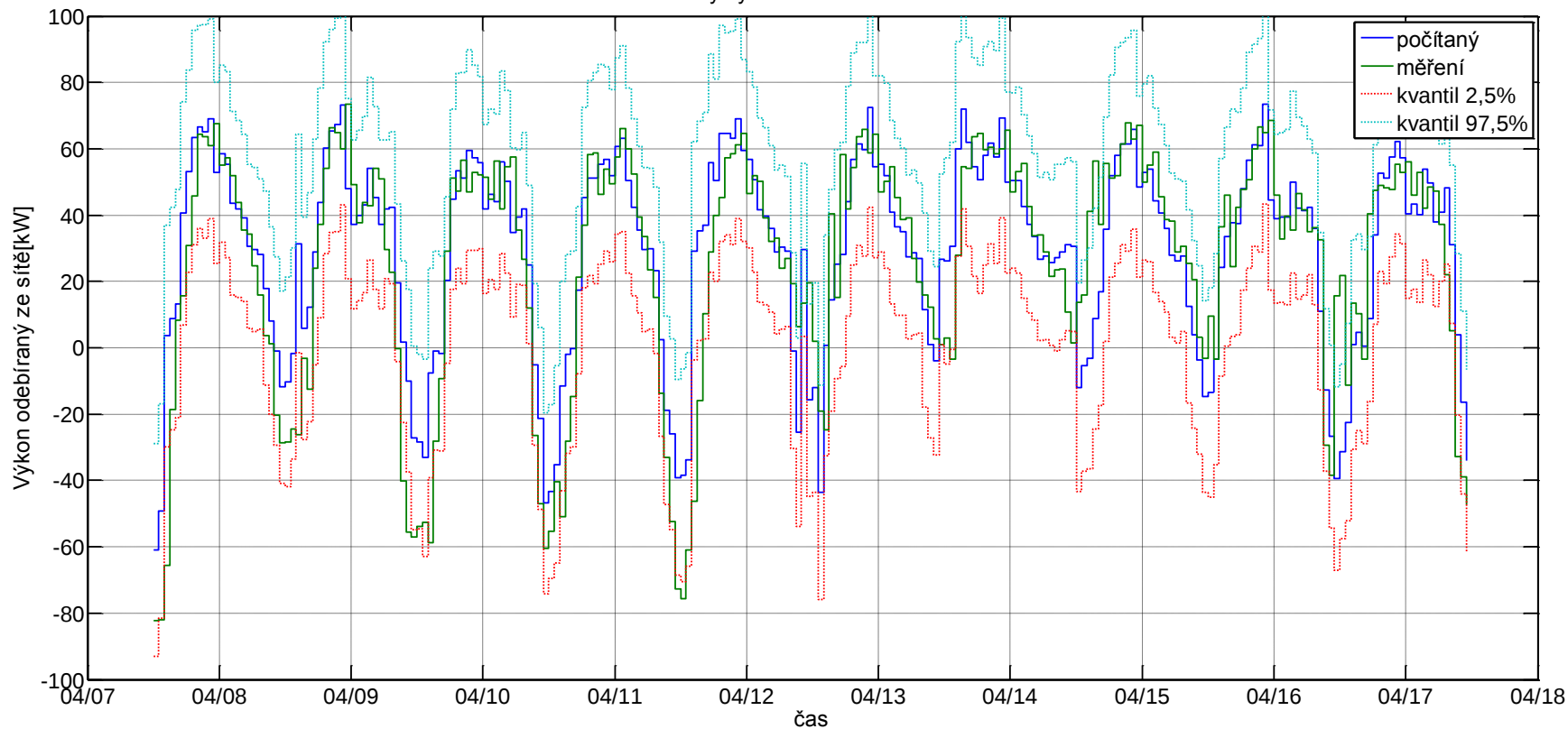


Normované typické denní diagramy spotřeby odběratelů (očekávaná hodnota)

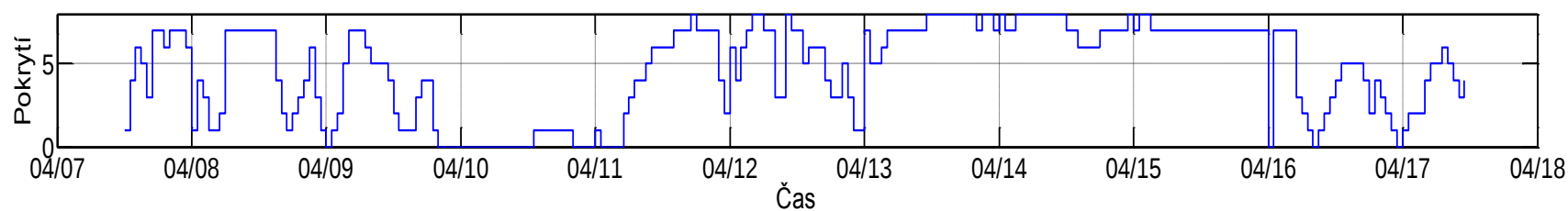
TDD1	TDD2	TDD3	TDD4	TDD5	TDD6	TDD7	TDD8
C01d C02d C03d	C24d C25d C26d C34d C35d C36d	C45d C46d C55d	D01d D02d	D24d D25d D26d	D34d D35d D36d	D45d D46d D55d	C62d

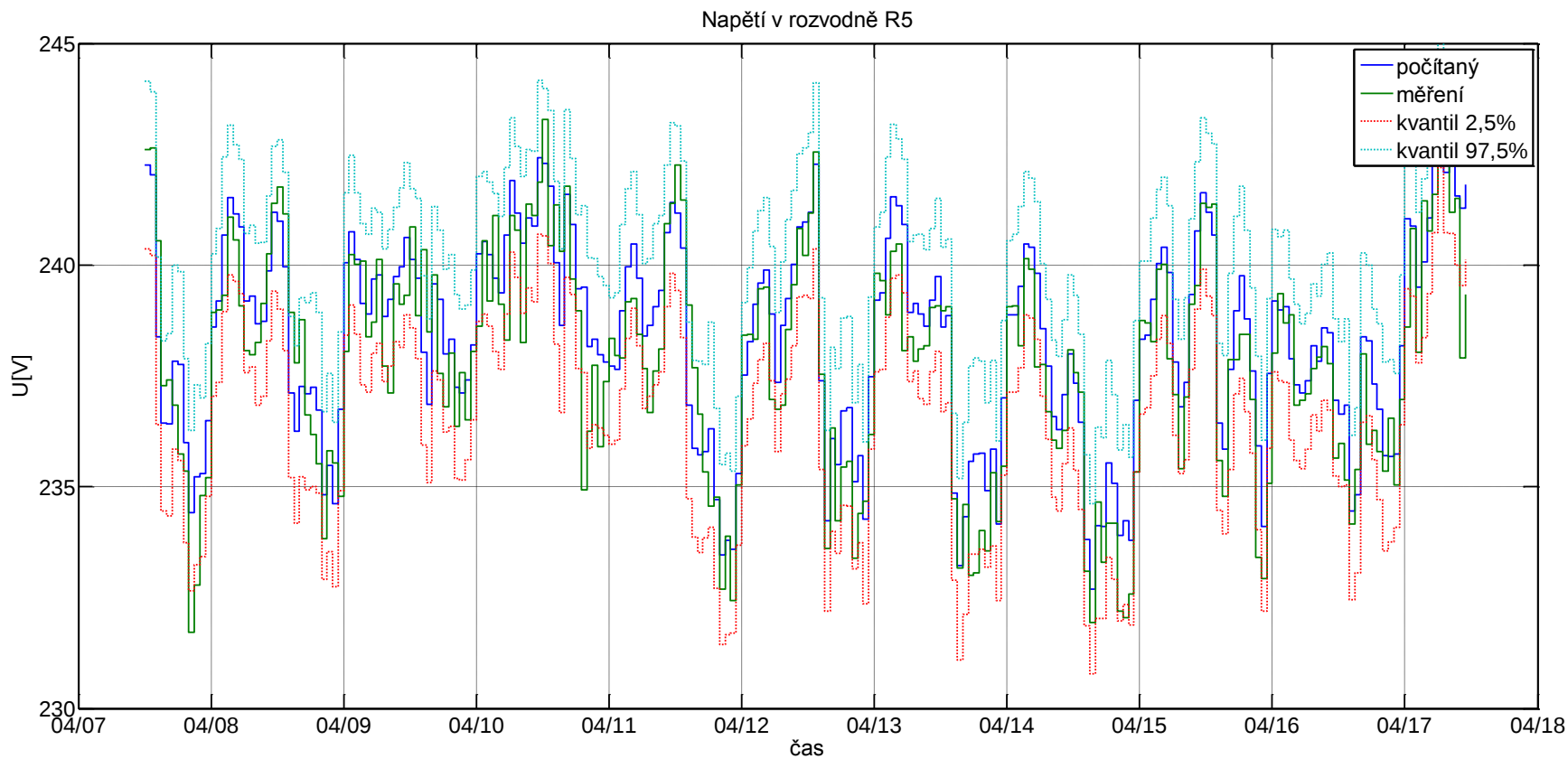


Činný výkon trafostanice obec



Pokrytí oblačností





Probabilistic Extension of the Backward/Forward Load Flow Analysis Method

Eduard Janecek and Daniel Georgiev

Abstract—The environmental need to curb distribution network losses and utilize renewable energy sources has created new challenges in estimation. High fidelity estimates are required even in the presence of significant uncertainty. Herein, we develop a new analytical probabilistic load flow method that, unlike existing analytical methods, is not based on a Taylor series approximation of the power equations. The method is exact for a set of distributions that includes the multivariate normal distribution. The method implementation is made scalable by casting all formulas into the framework of the popular backward/forward algorithm. The advantages of this approach are illustrated on a radial IEEE 32-bus test system. Significant improvements are observed in the presence of large power uncertainties and near the network power limits. Uniformly better estimation of power losses is achieved.

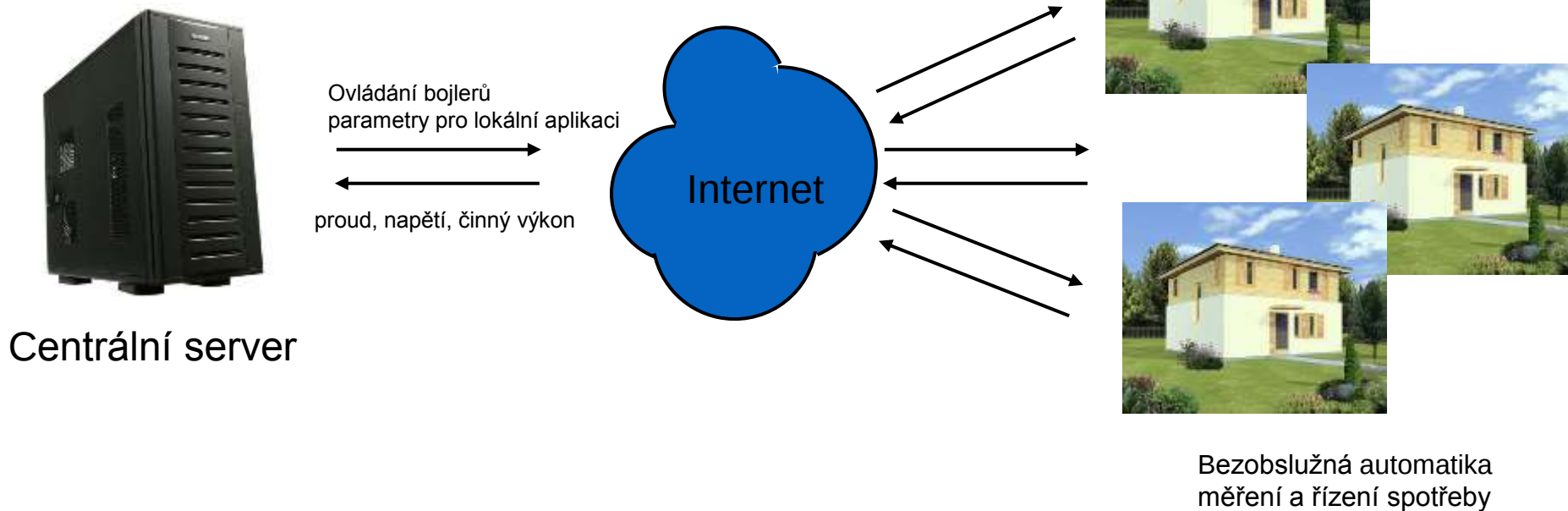
Index Terms—Load flow, power system analysis computing, power system modeling, uncertainty.

NOMENCLATURE

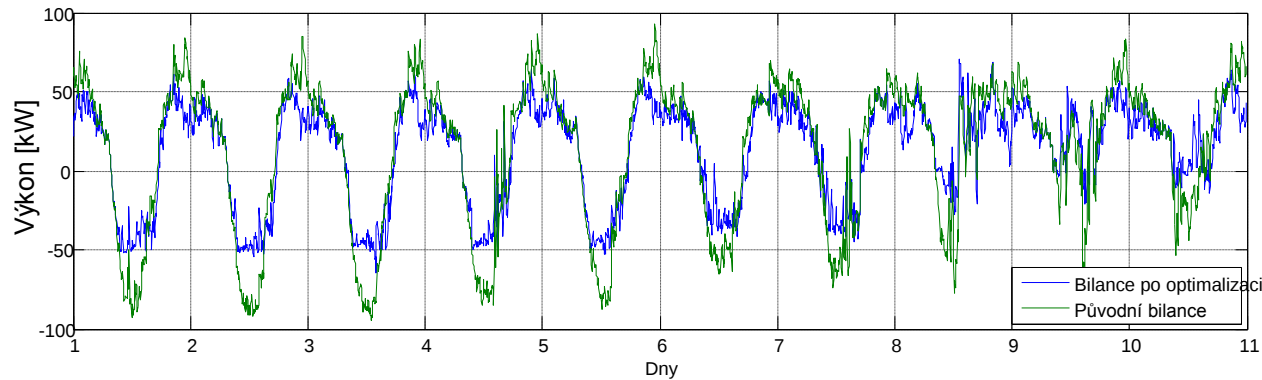
$\mathcal{N} = \mathcal{N}_1$ Complete set of node indices.

$R_{2s} \in \mathbb{C}^{2 \times 2}$	Covariance of W_k with $W_\ell, \ell \neq k, s \in \{H, T\}$.
$\gamma \in \mathbb{R}$	Contemporaneity factor.
$x(k) \in \mathbb{C}^5$	Backward state at node k .
$y(k) \in \mathbb{C}^8$	Forward state at node k .
$U_k \in \mathbb{R}^4$	Vector of estimates at node k made up from the real and imaginary parts of (J_k, V_k) .
$\Sigma_k \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$	Variance of U_k .
$\Gamma_{ks} \in \mathbb{C}$	Covariance of J_k with $V_k, s \in \{H, T\}$.
$\epsilon_k \in \mathbb{R}^4$	Power estimation error at node k .
$\mathcal{W}_{\mathcal{N}, V}$	Wasserstein voltage and power loss estimation errors.
$\mathcal{W}_{\mathcal{N}, \Delta S} \in \mathbb{R}$	

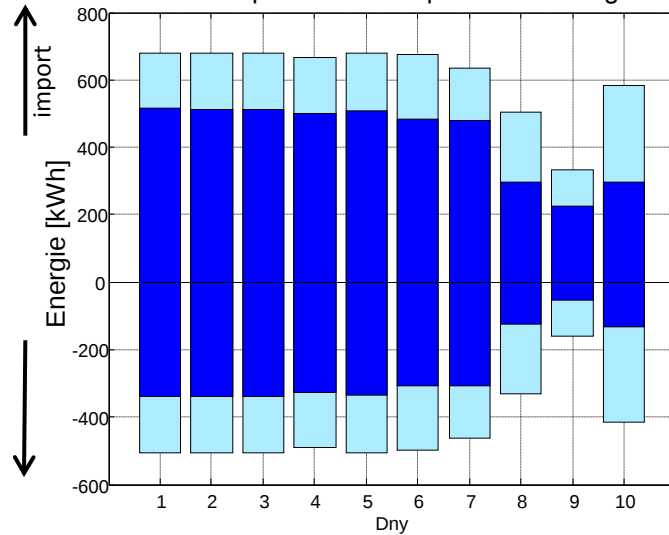
- Pilotní instalace v **Horušanech**: ovládání akumulčních ohřivačů TUV v deseti domácnostech



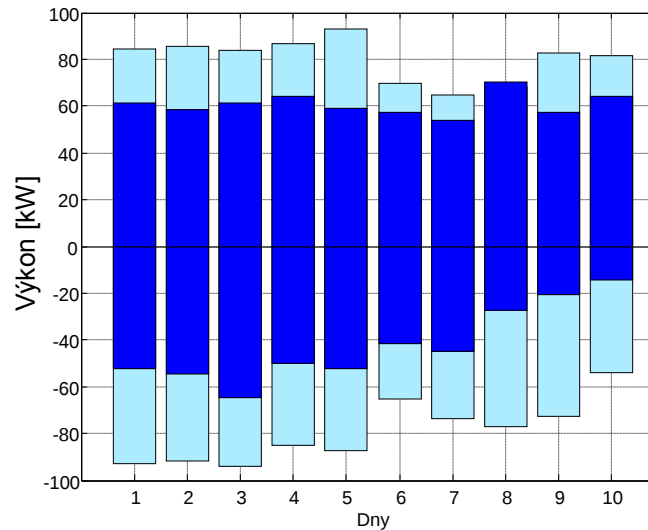
Výkonová bilance trafostanice



Importovaná a exportovaná energie



Maximální import a export



Efekty řízení

- Snížení importu a exportu energie o 40 %
- Snížení špičkového importu v průměru o 23 %
- Snížení špičkového exportu v průměru o 48 %
- Snížení rozsahu přenášených výkonů v průměru o 35 %

Bez řízení spotřeby
S řízením spotřeby

DATA



MODEL/METODY

INFORMACE



APLIKACE



GIS



Počasí



Produkce
OZE



Spotřeba

Modelovací nástroje
elektrických sítí

Pravděpodobnostní
modely
(Spotřeba, OZE)

Forecastingové
modely/metody
(Spotřeba, OZE)

Pravděpodobnostní
Load Flow
(pro el. síť s vys. podílem OZE)

DSM metody
(Různé řídicí strategie)

Predikce výkonových injekcí
(produkce OZE, spotřeba)

Stav el. soustavy
(pravděpodobnostní p.)

Ukazatele síťové
bezpečnosti a kvality

Dostupná DSM
kapacita

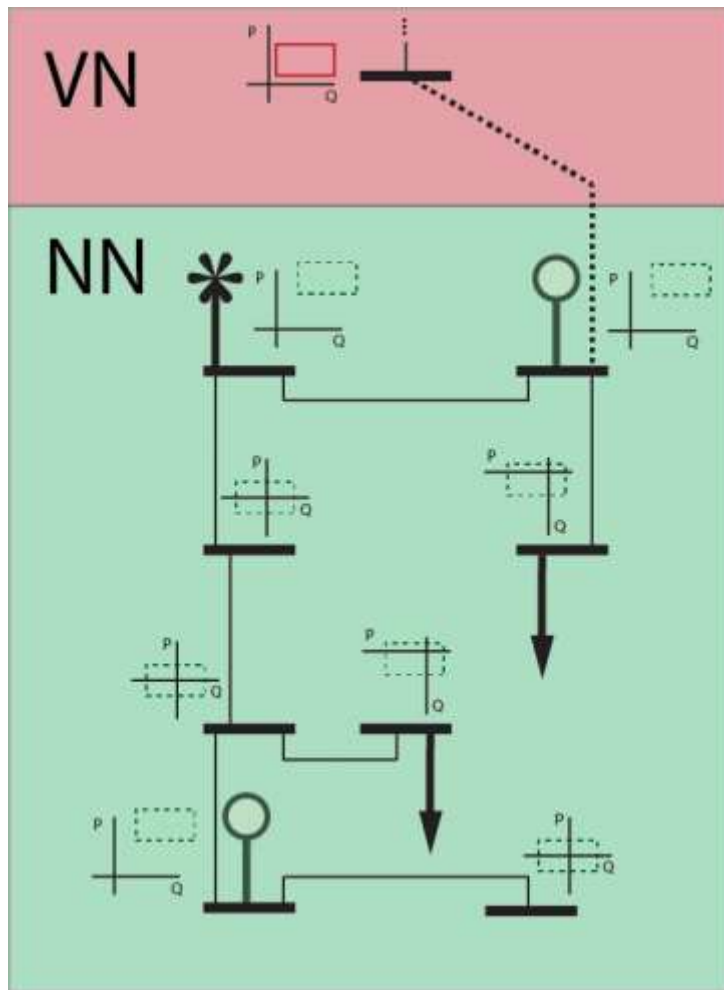
Maximální množství
instalovaných OZE

Plánování el. sítí
(vysoký podíl OZE)

Posouzení el. sítí
(posouzení scénářů)

DSM řízení
(PLF + DSM)

Výpočet bezpečného rozhraní sítí



- Operátor nadřazené soustavy stanoví bezpečný rozsah rozhraní do podřízené soustavy např. VN-NN
- Operátor (správce, agregátor) NN spočítá interní intervaly bezpečných injekcí vzhledem k omezení rozhraní VN-NN

- Klíčové rozhodnutí pro SG: volba struktury za rozhraním VN/NN pro řízení Spo_Výro_Aku.
- Dnes není komponenta rozhraní, řízení z dispečinku distribuce je zasláno až na relé tarifu Spo_Aku u zákazníka bez zpětné vazby (informací) dispečinku.
- Zákaznické akceptování tarifu ovládání spotřebičů a za to sleva v ceně přináší výrazné výhody pro efektivitu řízení Spo_Výro_Aku za rozhraním VN/NN (např. při odhadu rezerv pro PPS a rezerv pro aktivace pro potřeby předcházení stavu nouze aj.).
- Možný scénář v budoucnu: Komponenta rozhraní VN/NN alokovaná na trať VN/NN bude spravována: operátorem distribuce, správcem municipality, agregátorem, správcem kampusu, aj.
- Na komponentu budou napojeny zákaznické smart metery vybavené regulačními prvky (minimálně spínacími relé).
- Všechny komponenty budou pro potřeby technické bezpečnosti el. sítě koordinovány a pro potřeby řízení Spo_Výro_Aku povelovány operátorem distribuce. Operátor distribuce zprostředkovává komponentám komunikaci s nadřazenými autoritami (TSO, OTE, obchodní místa).
- Nejpravděpodobnější forma komunikace mezi komponentou VN/NN a operátorem distribuce je obousměrná komunikace zabezpečená telekomunikačními protokoly.

Pro **povelování** může být také využita stávající forma komunikace HDO (specifická pro ČR) s velkým potenciálem pro odolnost proti napadení například s následujícími úrovněmi povelů (typ a parametry řízení injekcí uzlu vn/nn) :

1. bez řízení
2. minimalizace přetoků z nn do vn
3. dodržení výkonového diagramu uzlu pro obchodní účely
4. poskytování výkonu pro podpůrné služby (sekundární, terciární regulace)
5. poskytování výkonu v režimu předcházení stavu nouze

Dlouhodobá spolupráce



- **Areva NP GmbH** – dodavatel technologických řešení pro jaderné elektrárny



- **Doosan Škoda Power** – výrobce pokročilých parních turbín a podpůrných systémů



- **ČEPS a.s.** – český operátor přenosové sítě



- **ČEZ a.s.** – největší česká energetická společnost

Vybraní průmysloví partneři



- **Unicorn Systems a.s.** – ICT řešení v oblasti energetiky (utilitní společnosti, TSO atd.)



- **AIS spol. s r. o.** – měřicí a informační technologie pro energetiku (např. WAMS technologie)



- **Pontech a.s./itelligence** – společnost poskytující služby v oblasti integrace dat a informačních systémech v energetice