

# Operátorské a inženýrské trenažéry elektráren, elektrorozvoden a elektrizačních soustav (3)

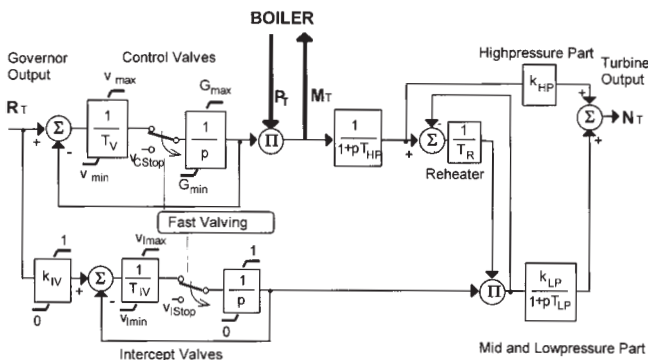
Tento seriál se věnuje Operátorským a Inženýrským Simulačním trenažérům.

Prvním dílu jsme si popsali konfiguraci trenažerů a začali jsme rozebírat modelování subsystému parního kotle. V dnešním dílu budeme pokračovat modelováním parní turbíny.

## Modelování parní turbíny

Jednoduchý IEEE model parní turbíny, zobrazený na obr.5., je odvozen z fyzikálního popisu výkonu turbíny  $N_T$ , který závisí obecně na hodnotách třech proměnných: parní průtok  $M_T$ , izoentropickém tepelném gradientu  $H_0$ , vnitřní termodynamické účinnosti  $\eta_{TD}$ . Vliv způsobený předpokládanými malými změnami otáček turbíny v rozsahu +10 % (dostatečnými pro IEEE inženýry) je zanedbán, protože odpovídající změny účinnosti jsou velmi malé, prakticky v jednotkách procent.

IEEE model parní turbíny představuje turbínu s přehřívčem páry, který je obvykle používán v turbín větších výkonů (rovným nebo větším než 110 MW) v České republice. Tyto turbíny mají více částí a protékající pára se vrací do přehříváku po expanzi ve VT dílu.



Obr.5 Blokové schéma jednoduchého modelu IEEE parní turbíny

Pro výpočet dynamiky IEEE turbíny jsou předpokládána určitá zjednodušení, která jsou užitečná pro odvození modelu turbíny jako části celkového modelu propojené elektrizační soustavy, ale nejsou akceptovatelná pro realistický model parní turbíny použitý jako hlavní část modelu energetického bloku pro tvorbu simulačního trenažeru.

Pro OTS energetického bloku (kotel a turbína) elektrárny/teplárny Opatovice byl vyvinut realistický model kondenzační turbíny bez přehříváku páry, s maximálním výkonem 60 MWe.

V případě EOP protéká pára VT dílem turbíny přes regulační ventil admissní páry, poté protéká NT dílem a vstupuje do kondenzátoru.

Vysokotlaká VT část, např. je popsána následujícími rovnicemi:

- třemi diferenciálními rovnicemi zachování energie pro páru, dynamiku hmotnostního průtoku sekcí a tepelné rovnováhy,
- dvanácti algebraickými rovnicemi, např. rovnice dýzy pro řešení tlakového spádu  $r_{hp}$ .

Celkem je použito také pět vstupů, sedm parametrů, jedna konstanta a pět výstupů. Úplný matematický popis považují autoři za příliš rozsáhlý a zaměření tohoto článku neodpovídající. Proto jsou pro ilustraci uvedeny pouze dvě diferenciální a dvě algebraické základní rovnice.

Rovnice hmotnostního průtoku má tvar:

$$V \frac{d}{dt} (\rho_0 h_0) = w_i h_i - w_{ohp} h_0 \quad (1)$$

Rovnice zachování energie má tvar:

$$V \frac{d}{dt} (\rho_0 h_0) = w_i h_i - w_{ohp} h_0 \quad (2)$$

Rovnice ideálního plynu má tvar:

$$T_0 = \frac{h_0 - h_{in}}{c_p} + T_{in}$$

$$p_0 = R \rho_0 T_0 \quad (3)$$

Rovnice průtoku dýzy má tvar:

$$r_{hp} \left( \frac{2}{n} \right) - r_{hp} \left( \frac{m+1}{m} \right) = \frac{w_{ohp}^2}{A_{hp} \rho_0 P_0} \left( \frac{m-1}{2\eta_{ohp} m} \right) \quad (4)$$

kde  $V$  je objem vstupního parního prostoru turbíny,

$T_0$  – výstupní teplota páry,

$c_p$  – specifické teplo pro konstantní tlak,

$\rho_0$  – hustota páry na výstupu z tohoto prostoru,

$h_0$  – měrná entalpie páry na výstupu z tohoto prostoru,

$h_i$  – měrná entalpie vstupní páry,

$w_i$  – průtok vstupní páry,

$w_{ohp}$  – průtok výstupní páry,

$r_{hp}$  – poměr poklesu tlaku páry v dýze,

$m$  – exponent polytropy pro přehřátou páru,

$n$  – exponent polytropy pro mokrou páru (výstupní pára z regulačního stupně turbíny).

Pro odvození fyzikálního popisu jsou použity další veličiny, např.:

$N_T$  – výkon turbíny,

$M_T$  – parní průtok,

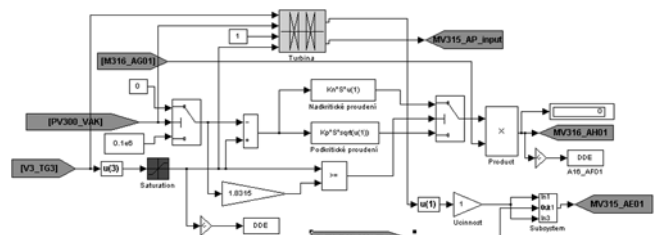
$H_0$  – izoentropický tepelný gradient,

$\eta_{TD}$  – vnitřní termodynamická účinnost.

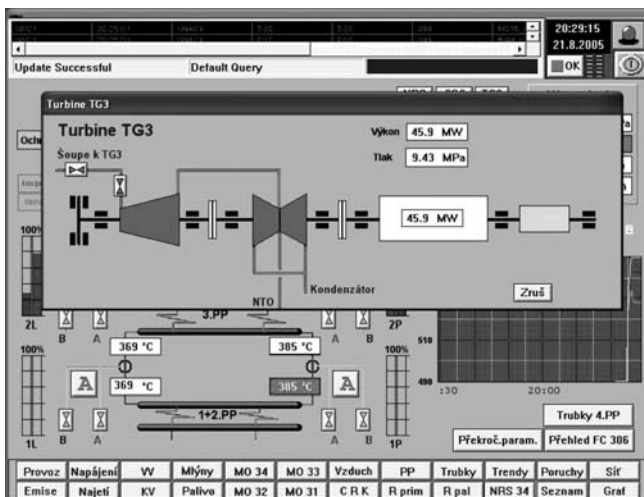
Blokové schéma hierarchické úrovně II, realizující např. i rovnice (1) až (4), je na obr. 6. Na obr. 7 je snímek turbíny doplněný na trenažerové pracoviště školeného operátora – topiče. Pro porovnání je na obr. 8 ukázán snímek turbíny z pracoviště strojníka SVEOP.

## Modelování elektrorozvoden

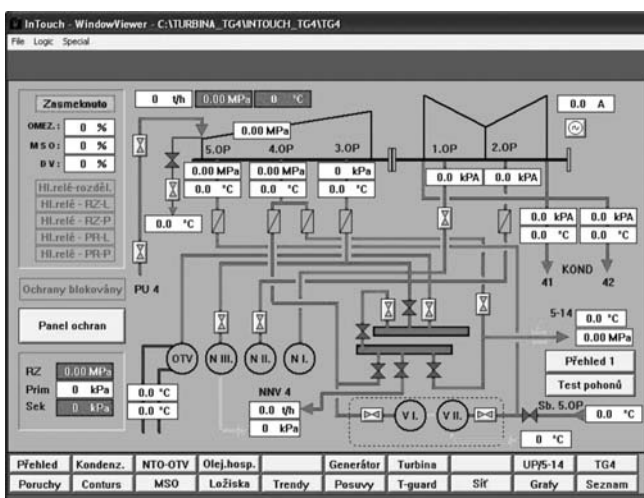
Výhodou použití MATLAB-SIMULINK je také jeho možnost účelného hierarchického členění použitých blokově-orientovaných schémat popisujících vyvíjený model elektrorozvoden. Jednotlivé moduly můžeme odladit zvlášť a potom je integrovat do celkového modelu.



Obr.6 Schéma turbíny v SIMULINKu – úroveň II



**Obr.7** Snímek turbíny v InTouch, pozadí snímek Přehříváku páry z pracoviště topiče



**Obr.8** Snímek turbíny v InTouch z pracoviště strojníka

MATLAB-SIMULINK má rovněž svojí komunikační část používající tzv. S-funkce Matlab, která poté na bázi komunikačního protokolu DDE zajišťuje propojení s vizualizačním a řídicím systémem InTouch od firmy Wonderware. Prostřednictvím SW prostředků InTouch vidí obsluhující manipulant a dispečer stav technologického zařízení na monitorech a dle Provozních předpisů příslušné rozvodny ho řídí a ovládá.

Zobrazení na monitorech je pochopitelně stejné jako na skutečném pracovišti manipulátora-dispečera na elektrovelině rozvodu elektráren Opatovice (dříve EOP, a. s.; nyní IPO, a. s.). Jedná se o tzv. typ trenažeru replika, kde školený a trénovaný pracovník má stejné pocity a stejné vizualizační a řídicí elementy a prvky jako na skutečném velínu. Rozdíl proti skutečnému velínu je však v tom, že je k dispozici i pracoviště Instruktor, který navíc proti možnostem školeného pracovníka-dispečera má k dispozici i specifické snímky ze kterých může měnit vnější podmínky pro práci rozvodny R110 kV (změna napětí na linkách, resp. v uzlu do kterého je R110 IPO připojena, např. OPOČINEK, změna zatěžných úhlů, tzn. změna spotřeby, změna frekvence sítě, atp.). Dále má k dispozici snímky pro zadávání elektrických poruch (jednofázové, dvoufázové a třífázové zkratky na vybraných místech a linkách, a jiné provozovatelem specifikované poruchy), strojních poruch odstavujících jednotlivé generátory, a rovněž možnost jejich odstraňování umožňující následně přifázování generátorů.

Těmito komplexními prostředky a případně připravenými automatickými scénáři provádí Instruktor trénování školeného pracovníka obsluhy na skutečné normální, abnormální, poruchové a havarijní situace, a to i ty, které se v provozu vyskytují zřídka a nemůže pro ně tedy obsluha mít dostatečně zautomatizované postupy řízení.

Model zahrnuje celý rozsah rozvodu v IPO, což představuje šest generátorů TG1 až TG6 a jejich blokových transformátorů T1 až T6, dále šest rozvodu vlastní spotřeby, 6 kV sběrnice R6\_8 a společnou rozvodnu R6\_9, rozvodnu R110 kV pro připojení vnějších linek 110 kV, sběrnice a transformátory napěťové úrovně 0,4 kV a další prvky (odpojovače, spínače, spotřebiče, atd.). Způsob členění jednotlivých SW bloků celého modelu je řazen do potřebného počtu hierarchických úrovní celého modelu.

Závěrem lze upozornit na podrobnější popisy jednotlivých modelů a trenažerů [7], [8], [10], [11] a průmyslové hodnocení efektů využívání trenažerů vypracované provozovatelem [6], [9].

## Literatura

- [1] ASTROM, K. J., BELL, R. D. (2000): Drum-boiler dynamics. *Automatica*, Vol. 36, 363 – 378.
- [2] DOLEŽAL, R., VARCOP, L. (1970): *Process Dynamics – Automatic Control of Steam Generation Plant*, Elsevier, London.
- [3] NEUMAN, P. (1997): *Engineering Simulator for Fossil Power Plant*. Preprint IFAC/CIGRE Symposium on Control of Power Systems and Power Plants, Beijing, China, 375-383.
- [4] NEUMAN, P., POKORNY, M., VARCOP, L., WEIGLHOFER, W. (2002): *Engineering and Operator Training Simulator of Coal-Fired Steam Boiler*. In: *Preprints of 10<sup>th</sup> International Conference MATLAB 2002*, Vol. 1, Prague, Czech Republic, 378-385.
- [5] NEUMAN, P., POKORNY, M., VARCOP, L., WEIGLHOFER, W. (2003): *Operator Training Simulator of Coal-Fired Power and Heating Units*. In: *Preprints of 11<sup>th</sup> International Conference MATLAB 2003*, Vol. 2, Prague, Czech Republic, 407-411.
- [6] PŘÍVOZNÍK, M. (2003): *Trenažer kotle v EOP*, *Zpravodaj EOP, a.s.*, číslo 4, prosinec 2003, str. 8.
- [7] NEUMAN, P., POKORNY, M., TUŠLA, P., VARCOP, L., WEIGLHOFER, W.: *Operátorské a dispečerské trenažery elektrárenských a teplárenských bloků, rozvodu a sítí pro Českou republiku*. Sborník z 10. ročníku konference PODĚBRADY 2005.
- [8] NEUMAN, P., POKORNY, M., TUŠLA, P., VARCOP, L., WEIGLHOFER, W.: *Možnosti vývoje a využití plnohodnotných „Low Cost“ operátorských a dispečerských trenažerů*. Sborník přednášek ze semináře č.9 Simulace a dynamické modelování procesů v elektrizační soustavě. *Cyklus E 2005*.
- [9] NEUMAN, P.: *Dispečerský trenažer rozvodu v EOP*, *Zpravodaj EOP, a.s.*, číslo II, str.2, 2005.
- [10] NEUMAN, P., POKORNY, M., TUŠLA, P., VARCOP, L., WEIGLHOFER, W., VALENTA, O., TILGNER, J.: *Plnorozsahové dispečerské trenažery, jejich přínos ke zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti provozu technických zařízení elektráren*. *Energetika*, č. 8-9, (ročník 56) 2006, str. 261-265.
- [11] NEUMAN, P., POKORNY, M., VARCOP, L., WEIGLHOFER, W., HRDLIČKA, P., ŠEBESTA, M.: *Operátorské a inženýrské trenažery uhelných elektráren a tepláren*. *Automatizace*, č. 11, (ročník 49) 2006, str. 712-715.

**Ing. Petr Neuman, CSc.**  
**Ing. Marek Pokorný**  
**Ing. Ludvík Varcop, CSc.**  
**Ing. Willy Weiglhofer, Ph.D.**

NEUREG, spol. p r o  
 e-mail: neumanp@volny.cz