

KNIHOVNA ENERGETICKÝCH KOMPONENT PRO SIMULACI PROVOZU PARNÍCH TURBÍN

Milan Cepák*, Vladimír Havlena**

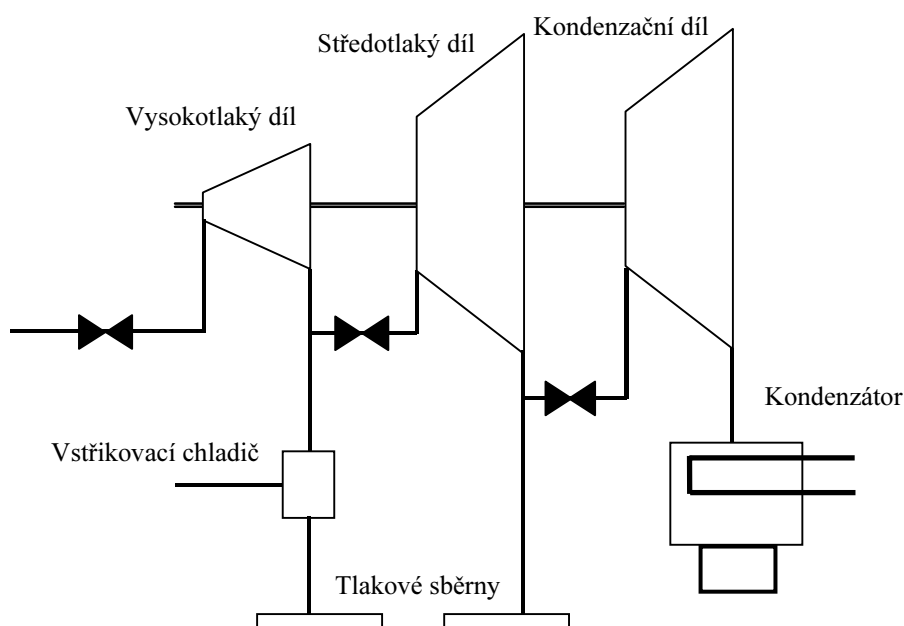
*ČVUT FEL, katedra řídicí techniky

**Honeywell Prague Laboratory

Abstrakt: Tento příspěvek se zabývá popisem knihovny obsahující energetické komponenty vhodné pro simulaci provozu protitlakých a kondenzačních vícedílných turbín. Kombinovat lze jednotlivé tlakové díly turbín, vstřikovací chladiče, tlakové sběrný a kondenzátory. Tímto způsobem se dají jednoduše vytvářet komplikovaná energetická zapojení a testovat jejich funkčnost. Veškeré výpočty tepelných veličin se provádějí on-line v nástroji Simulink prostřednictvím balíčku *Steam Properties Package*. Získané výsledky jsou na závěr porovnány s daty z reálných zařízení.

1. Úvod

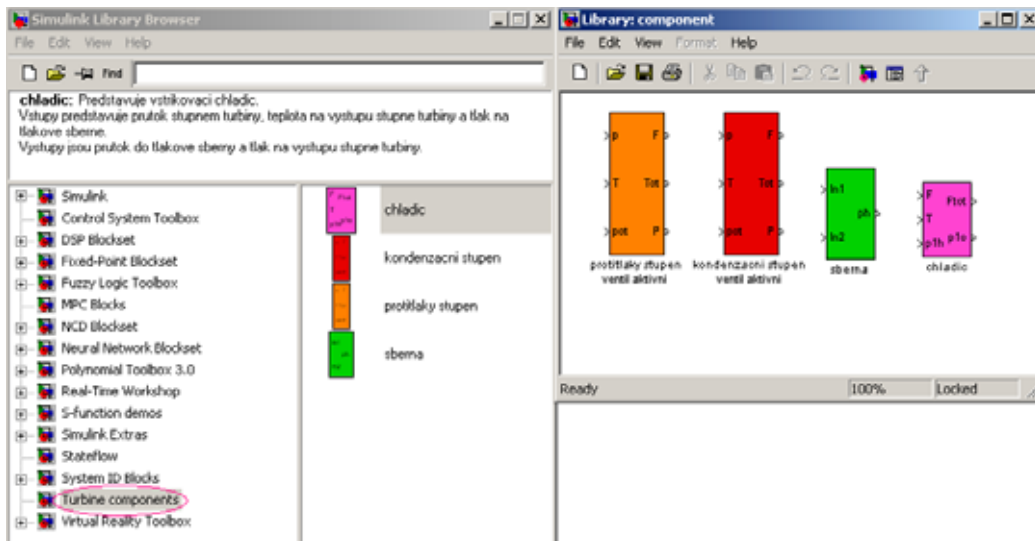
Tepelné elektrárny generující vysoký výkon obsahují v mnoha případech několik parních turbín pospojovaných do komplikovaných sítí. V těchto sítích se nejčastěji vyskytují čtyři typy energetických komponent. Základní stavební jednotku představuje díl turbíny (může být vysokotlaký, středotlaký, nízkotlaký), ve kterém probíhá proces transformace tepelné energie páry na mechanickou energii hnací hřídele. Dále se v zapojeních vyskytuje vstřikovací chladič, ve kterém se pára prošlá dílem turbíny ochlazuje na požadovanou hodnotu, a tlaková sběrna, představující místo, kudy využítá pára (ochlazovaná nebo neochlazovaná) opouští systém, aby mohla být transportována jako zdroj tepla do budov nebo jako technologické medium do průmyslových procesů. U kondenzačních turbín se místo sběrný používá kondenzátor, ve kterém se udržuje velice nízký tlak (skoro vakuum), při němž se pára ochlazuje proudící vodou a tak se transformuje do kapalného stavu. Ukázkou trojdílné parní turbíny s dvěma sběrnými, jedním chladičem a kondenzátorem zobrazuje následující obrázek.



Obr. 1.: Schéma trojstupňové parní turbína

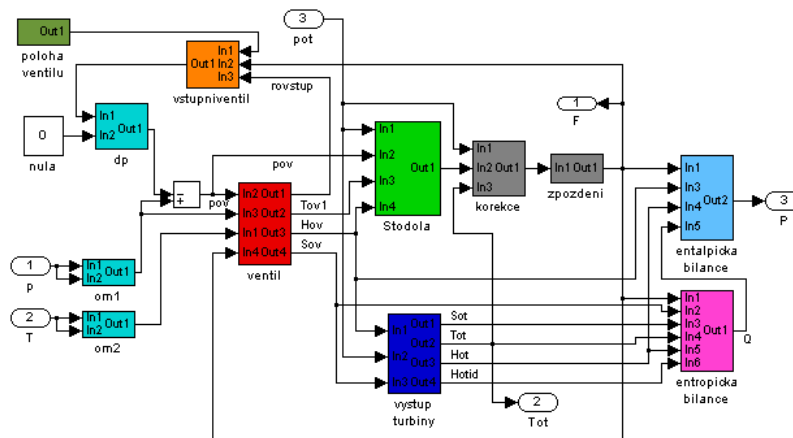
2. Knihovna s energetickými komponentami

Jednotlivé energetické komponenty se modelují v nástroji Simulink prostřednictvím fyzikálních rovnic popsanych v [1]. Díl turbíny a vstřikovací chladič odpovídají systémům prvního řádu (obsahují zpoždění prvního řádu s danou časovou konstantou), tlaková sběrna taktéž (integrací průtoku se získává tlak na sběrně). Proces kondenzace v kondenzační jednotce je popisován třemi diferenciálními rovnicemi založenými na přestupu tepla z páry do potrubí, šíření v potrubí a přestupu tepla z potrubí do chladicí vody. Dále zde dochází k integraci průtoku, čímž se definuje tlak v kondenzátoru; celý systém je tedy čtvrtého řádu.



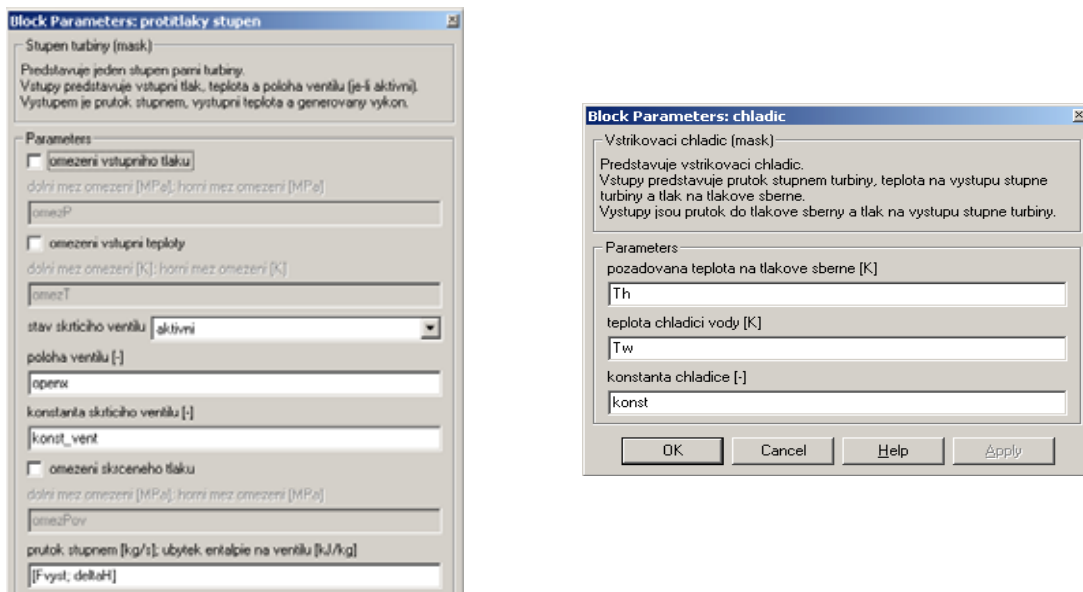
Obr. 2.: Navržená knihovna energetických komponent

Návrh samotných komponent v Simulinku využívá kromě základních algebraických operací také bloky pracující s matlabovskými funkcemi. Tímto způsobem se volá balíček *Steam Properties Package* provádějící výpočty tepelných veličin typu entalpie, entropie atd. Dále se také využívají dvourozměrné tabulky pro implementaci závislosti jedné veličiny na druhé (např. úbytek entalpie na průtoku dílem turbíny). Vhodnějším řešením je však danou závislost proložit polynomem a namísto vyhledávání v tabulce nalézt příslušnou hodnotu vyřešením polynomiální rovnice. Takto lze výrazně zrychlit simulaci provozu turbíny, v případě komplikovanějších zapojení až o minuty.



Obr. 3.: Schéma dílu turbíny v nástroji Simulink

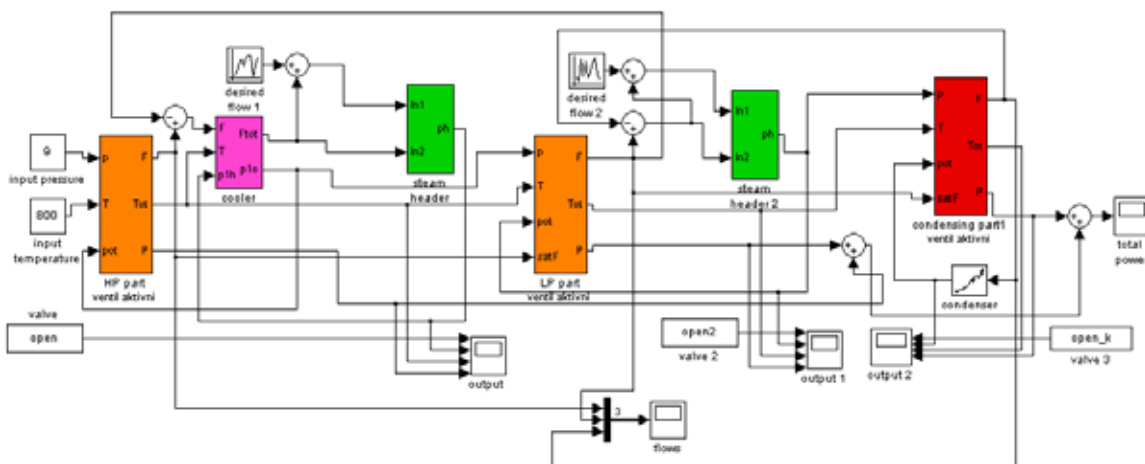
Samozřejmost představuje maska parametrů, pomocí které uživatel nastavuje vlastnosti odpovídající komponenty. Většinou se jedná o vstupní hodnoty nezbytné pro správnou činnost modelu; jsou však také implementovány další typy formulářových polí jako seznamové (*combo box*) nebo zaškrťací pole (*check box*). Tento přístup omezuje přímé zásahy uživatele do vnitřku komponenty a umožňuje mu provádět pouze dovolené změny.



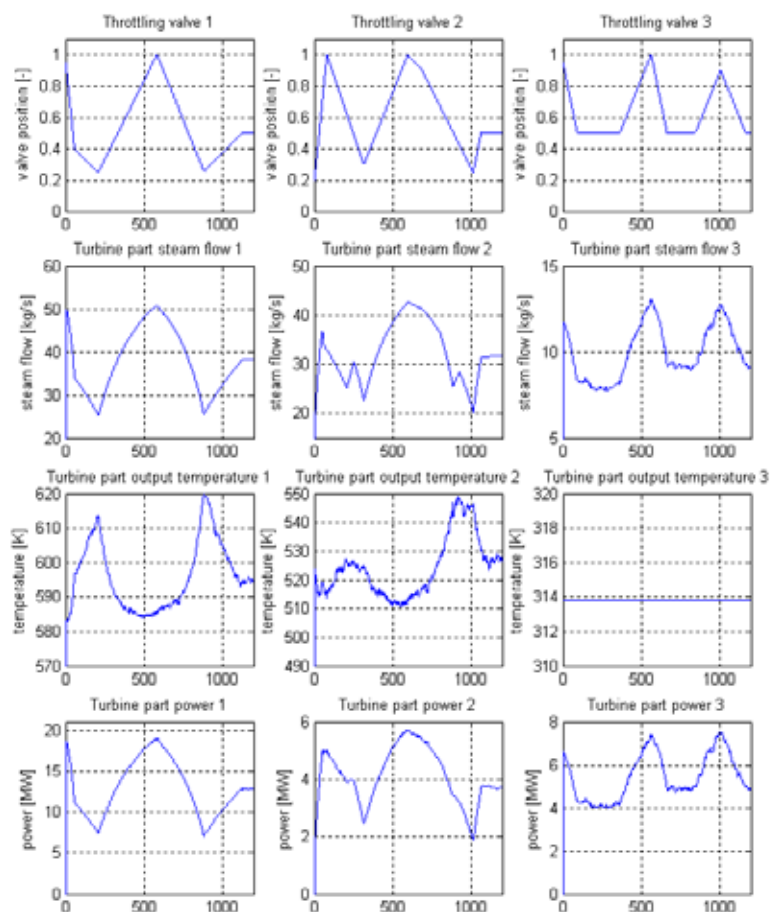
Obr. 4.: Ukázka masky parametrů dílu turbíny a chladiče

3. Simulace parní turbíny pomocí energetické knihovny

Zapojení parní turbíny se dvěma protitlaky, chladičem a jedním kondenzačním stupněm prostřednictvím navržené knihovny představuje jednoduchý úkon spočívající v propojení odpovídajících turbínových dílů a dalších komponent. Výstupy jednoho dílu jsou zároveň vstupem do dílů dalších. Celá kaskáda se testuje pro různé polohy škrťacích ventilů, což poskytuje dostatečné množství informací pro vyhodnocení kvalitativních vlastností modelu. Vzhledem ke skutečnosti, že model kondenzátoru je stále ve fázi vývoje a testování, byla tato jednotka pro výše popsanou simulaci nahrazena dvourozměrnými tabulkami popisujícími závislost tlaku v kondenzátoru na průtoku páry kondenzačním stupněm. Při této parametrizaci se využívají reálná data, takže přesnost výsledku simulace není ohrožena.



Obr. 5.: Turbína se dvěma protitlaky, jedním kondenzátorem a jedním chladičem



Obr. 6.: Časové průběhy veličin ve vícedílné parní turbíně

4. Závěr

V tomto příspěvku byla prezentována speciální knihovna obsahující energetické komponenty vhodné pro simulaci provozu protitlakých a kondenzačních parních turbín. Navržené modely byly porovnány s reálnými zařízeními a rozdíl mezi modelovanými a skutečnými daty se pohyboval okolo sedmi procent. Tato přesnost umožňuje věrnou simulaci energetických zařízení, přičemž se velká využitelnost tohoto přístupu předpokládá zvláště při řešení komplexních optimalizačních úloh regulace elektrické energie v rozlehlých systémech.

Reference

[1] Cepák, M. *Simulation of the Steam Turbine in Matlab Environment*. In.: 2nd International Industrial Simulation Conference 2004, p. 251-255, Malaga, Spain.

Poděkování

Tento výzkum je podporován společností Honeywell Prague Laboratory (96/95017/13135) a grantem 102/03/H116 Grantové agentury České republiky.

Kontakt

Ing. Milan Cepák
 ČVUT, fakulta elektrotechnická, katedra řídicí techniky, Karlovo náměstí 13, 121 35 Praha 2,
 tel. 2/24357279, e-mail: cepakm@control.felk.cvut.cz