

30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

Jednotlivý příspěvek ze sborníku



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Technicko - ekonomické modelovanie prevádzky energetických strojov a zariadení

Peter FODOR¹, František URBAN²

¹ Ing. Peter Fodor, SĽF STU v Bratislave, Nám. slobody 17, 812 31, peter.fodor@stuba.sk

² doc. Ing. František Urban, PhD., SĽF STU v Bratislave, ÚTE, frantisek.urban@stuba.sk

Abstrakt: *Technicko – ekonomické modelovanie prevádzky energetických strojov a zariadení je súčasťou všeobecnej metodiky na optimalizáciu zdrojovej časti sústavy centralizovaného zásobovania teplom (SCZT). Pri tvorbe modelu sa vždy musia zohľadniť tepelné schémy tepelných zdrojov v SCZT. Zostaviť treba technicko – ekonomické modely prevádzkových charakteristík kotlov, turbín, kogeneračných jednotiek a ďalších strojov a zariadení inštalovaných v tepelných zdrojoch. Pre definované optimalizačné kritérium predstavuje optimalizácia prevádzky tepelných zdrojov stanovenie extrému funkcie viacerých premenných viazaných vedľajšími podmienkami. Na základe optimálneho zaťažovania zdrojov tepla v SCZT možno prijať strategické rozhodnutia týkajúce sa návrhu alebo prevádzky tepelných zdrojov v SCZT.*

1. Úvod

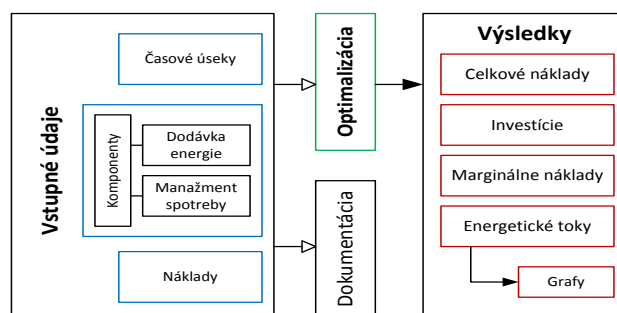
Zaistenie efektívnosti prevádzky v energetických sústavách kombinovanej výroby elektriny a tepla (KVET) a s tým súvisiace technicko - ekonomické modelovanie prebieha v dvoch fázach. Pri prevádzke jednotlivých zariadení v sústavách centralizovaného zásobovania teplom (SCZT) a pri riadení spolupráce všetkých týchto článkov. V prvej fáze ide o zabezpečenie technologickej hospodárnosti, t.j. zaistenie maximálnej hospodárnosti jednotlivých článkov sústavy pri zadanom prevádzkovom režime. Ide tu hlavne o dodržanie optimálnych parametrov, ako napr. účinností kotlov, vakuu turbín, režimu ohrevu napájacej vody. Pre druhú fázu uvažujeme, že každý článok pracuje s maximálnou hospodárnosťou. Druhá fáza spočíva v zaistení optimálnej spolupráce jednotlivých článkov sústavy.

Pre zaistenie režimovej hospodárnosti KVET je potrebné uskutočniť dvojnásobnú optimalizáciu prevádzky:

- optimálne zaťažovanie prevádzkovaných kotlov a turbín v závislosti od denného diagramu zaťaženia,
- optimálne radenie – výber kombinácie optimálne zaťažovaných kotlov a turbín.

2. Modelovanie energetických systémov

Prostriedky na analyzovanie systémov ako celku slúžia hlavne ako podpora pre rozhodnutia v oblasti rozvoja. Pomocou systémových analýz sa dá doceliť, ako dostupné zdroje KVET budú čo najlepšie využité v hraniciach systému. Na analýzu možno použiť energetický alebo technicko - ekonomický model. V energetických modeloch sa uvažuje s premenou primárnych zdrojov energie na požadovanú formu energie (napr. elektrinu, teplo). Energetické modely strojov a zariadení sú spracované do formy prevádzkových energetických charakteristík. Doplnením energetických modelov ekonomickými údajmi (napr. cena paliva, cena elektriny) možno zostaviť technicko - ekonomický model strojov a zariadení. Potom možno vytvoriť model prevádzky tepelného zdroja alebo SCZT (obr.1).



Obrázok 1 - Hlavný tok informácií v modeli

3. Kritéria optimalizácie prevádzky zdrojov KVET v SCZT

Pre riešenie úloh je potrebné stanoviť optimalizačné kritérium riadenia prevádzky tepelných zdrojov KVET - kotlov a turbín v SCZT. V tomto kritériu by mala byť zohľadnená energetická i ekonomická náročnosť výroby tepla. Ekologické hľadisko by malo byť tiež zahrnuté do optimalizačného kritéria. Energetická náročnosť súvisí s účinnosťou premeny primárnej energie na teplo a elektrinu. Je daná energetickými charakteristikami kotlov a turbín. Podrobnejšie sa zaoberajme ekonómiou výroby tepla. Pri vyjadrovaní nákladov n na dodávku tepla a elektriny je potrebné rešpektovať dve zložky odlišného charakteru:

- fixnú zložku (FZ), ktorá zahŕňa všetky náklady na udržanie pohotovosti SCZT, t.j. odpisy, úroky, mzdy, materiál, réžia,
- variabilnú zložku (VZ), ktorá zahŕňa náklady závislé od dodávky tepla a výroby elektriny, obvykle sa redukuje na náklady na palivo $VZ = n_{pal}$.

$$n = FZ + VZ \quad (1)$$

Štruktúra nákladov na elektrinu a teplo býva značne rozdielna. Medzi jednotlivými skupinami energetických výrobní sa podiel pohyblivej palivovej zložky nákladov mení od 40 % do 75 % celkových nákladov. Palivová zložka nákladov tvorí rozhodujúcu časť nákladov v teplárni. Na základe týchto údajov zjednodušene bude kritériom ekonomickej efektívnosti prevádzky tepelných zdrojov minimum nákladov na energiu vstupujúcu do sústavy, čo pre SCZT je minimum nákladov na palivo spotrebované v zdrojoch na dodávku tepla a elektriny. Ak do palivovej zložky nákladov zahrnieme zachytávanie popolčeka, odstraňovanie NO_x , odsírovanie, dopravu a ukladanie popola, optimalizačné kritérium bude vyhovovať aj z hľadiska vplyvu prevádzky

zdrojov tepla v SCZT na životné prostredie. Požiadavkám ekonomického optima najlepšie odpovedajú kritéria minima nákladov na palivo a maximálneho zisku.

4. Model prevádzkových charakteristík zariadení KVET

Charakteristiky kotlov, turbín, kogeneračných jednotiek a ďalších zariadení možno stanoviť na základe údajov od výrobcov zariadení alebo z prevádzkových meraní. Zo získaných údajov účinností kotlov v závislosti od ich zaťaženia možno vytvoriť energetické charakteristiky kotla $\eta_k(P_{kot})$, $\eta_k(\dot{m}_{kot})$, $\eta_k(Z)$ vyjadrené regresnými polynómami 1. až 3. stupňa v tvare

$$\eta_k = a_0 + a_1 Z + a_2 Z^2 + a_3 Z^3 \quad (2)$$

kde Z je zaťaženie kotla $Z = \frac{P_{kot}}{P_{kot,max}}$,

P_{kot} – výkon kotla,

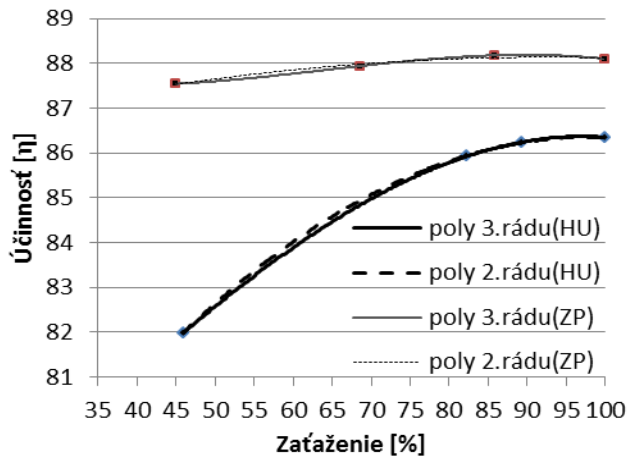
\dot{m}_{kot} – prietok pary vyrobenej v kotli,

$P_{kot,max}$ – nominálny výkon kotla.

Na obr. 2 je zobrazená závislosť účinnosti η_k dvojpalivového parného granulačného kotla na zemný plyn (ZP) a hnedé uhlie (HU) s tlakom admisnej pary 10 MPa, teplotou 525 °C a prietokom pary 68 t/h. V diagrame je znázornený rozdiel medzi regresiou polynómami 2. a 3. stupňa. Pearsonov korelačný koeficient R^2 je pre ZP podľa stupňa polynómu 1.st $R^2=0,81331$, 2.st $R^2=0,98026$, 3.st $R^2=1,0000$.

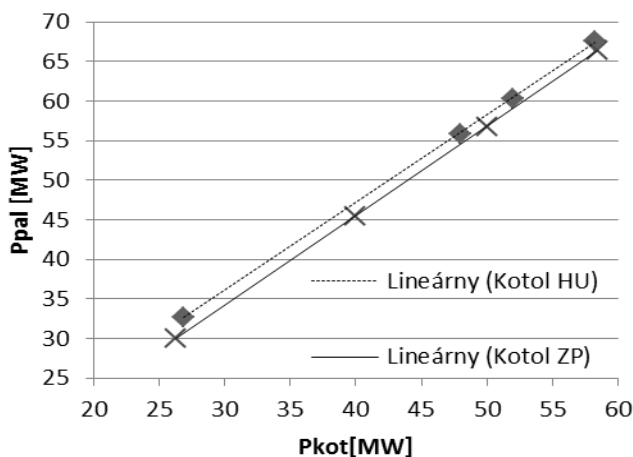
Energetická charakteristika kotla je vyjadrená závislosťou príkonu P_{pal} (dodané teplo v palive) od jeho tepelného výkonu P_{kot} .

$$P_{pal} = P_{kot} \frac{1}{\eta_k} = b_0 + b_1 P_{kot} \quad (3)$$



Obrázok 2 - Účinnosť kotla v závislosti od zaťaženia a použitého paliva

Z regresie vychádza korelačný koeficient pre lineárnu charakteristiku $R^2=0,99991$ a pre polynóm 2. stupňa $R^2=0,99999$. Z výsledkov možno konštatovať, že rozdiel medzi regresnými polynómami 1. a 2. stupňom je minimálny t.j. lineárna charakteristika bude pre energetickú charakteristiku vyhovujúca.



Obrázok 3 - Závislosť výkonu v palive od výkonu kotla

Závislosť okamžitých nákladov na palivo n_{pal} Eur/s od výkonu kotla (obr.4), ktorú možno nazvať ekonomickou charakteristikou zdroja vypočítame:

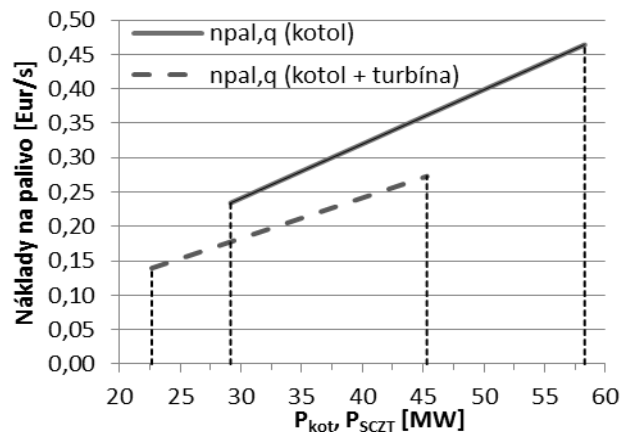
$$\begin{aligned} n_{pal} &= C_{pal} \cdot m_{pal} = C_{pal} \cdot \frac{P_{pal}}{Q_n} = C_{pal} \cdot \frac{P_{kot}}{Q_n \cdot \eta_k} \\ &= c_0 + c_1 P_{kot} \end{aligned} \quad (4)$$

Ekonomická charakteristika uvažovaného kotla je vypočítaná pre výhrevnosť ZP je $Q_n=9,57$ kWh/m³ a cenu ZP $C_{pal}=0,2418$ Eur/kWh.

Ak ide o tepláreň, kde sa vyrába teplo a elektrina, treba brať do úvahy vhodnú metódu delenia palivových nákladov na teplo $n_{pal,q}$ a elektrinu $n_{pal,el}$. Celková spotreba tepla v palive Q_{pal} je podľa metódy delenia rozdelená na teplo v palive pripadajúce na výrobu tepla $Q_{pal,q}$ a teplo v palive na výrobu elektriny $Q_{pal,el}$. Náklady na palivo pre kogeneračnú výrobu možno rozdeliť

$$n_{pal} = n_{pal,el} + n_{pal,q} = \beta^{el} \cdot n_{pal} + \beta^q \cdot n_{pal} \quad (5)$$

Pre podiely tepla v palive na výrobu tepla β^q a elektriny β^{el} platí $\beta^{el} + \beta^q = 1$.



Obrázok 4 - Závislosť nákladov na palivo od výkonu kotla

Pri kombinovanej výrobe tepla a elektriny možno využiť paru z uvažovaného kotla s prietokom (37 až 68 t/h) v protitlakovej turbíne, ktorej vnútorná účinnosť η_{vn} je v rozsahu 83 % až 87 %, účinnosť mechanická a generátora $\eta_{m,g}=95\%$. Emisná para má tlak 0,35 MPa a teplotu 153 °C. Pri spolupráci parného kotla s protitlakovou turbínou je tepelný výkon kotla P_{kot} súčtom vnútorného výkonu turbíny a tepelného výkonu P_{sczt} dodávaného do SCZT. Na obr. 4 je znázornená technicko – ekonomická charakteristika spolupráce kotla s protitlakovou turbínou, pričom sa uvažovalo $\beta^q = 0,591$.

5. Záver

Predmetom tvorby technicko - ekonomického modelu je vytvorenie všeobecnej metodiky

na optimalizáciu SCZT. Pri tvorbe modelu sa vždy musí zohľadniť tepelná schéma konkrétnej teplárne. Zostaviť treba modely prevádzkových charakteristík kotlov, turbín, kogeneračných jednotiek a ďalších strojov a zariadení inštalovaných v teplárni. Optimalizácia prevádzky teplárne predstavuje stanovenie extrému funkcie viacerých premenných viazaných vedľašími podmienkami. Na optimalizáciu sa používa metóda Lagrangeových multiplikátorov, Simplexova metóda, metóda pomerných prírastkov alebo možno využiť metódu analýzy charakteristík. Na základe metodiky technicko – ekonomického hodnotenia optimálneho zaťažovania zdrojov tepla v SCZT možno prijať strategické rozhodnutia týkajúce sa návrhu a prevádzky vlastných alebo cudzích zdrojov v SCZT.

Príspevok bol spracovaný na základe úloh súvisiacich s projektom VEGA 1/0381/10 „Zvýšenie efektívnosti energetických systémov“.

6. Literatúra

- [1] [1] Fodor, P.: Optimalizácia prevádzky zdrojov v sústave centralizovaného zásobovania teplom. Písomná práca k dizertačnej skúške. SJF STU v Bratislave, 2011.
- [2] [2] Urban, F.: Optimálne radenie a zaťažovanie zdrojov tepla a turbín v teplárenskej sústave. Výskumná správa. SJF SVŠT v Bratislave, 1991.