ПРИСТУП БИЛАНСИРАЊУ ЕНЕРГИЈЕ У СИСТЕМУ ДАЉИНСКОГ ГРЕЈАЊА СА ИЗВОРИМА ЗА СПРЕГНУТУ ПРОИЗВОДЊУ

AN APPROACH TO BALANCING THE ENERGY FLOWS IN A DISTRICT HEATING SYSTEM WITH COMBINED HEAT AND POWER SOURCES

Проф. др Војин Грковић, дипл. инж., и проф. др Мића Марић, дипл. инж., Факултет техничких наука, Нови Сад

У раду је приказан аналитички приступ енергетском билансирању система даљинског грејања са изворима за спрегнуту производњу електричне и топлотне енерије. Наведен је нумерички пример примене алгоритма за билансирање система даљинског грејања Београда са блоковима за СПЕТЕ електричне снаге 200 MW и 300 MW у ТЕ "Никола Тесла" – А. Алгоритам је заснован на поступку израчунавања енергије нумеричком интеграцијом снаге дуж криве трајања топлотног оптерећења.

In the paper the procedure of balancing the flows of energy in a DH system with CHP sources is presented. The results of performed calculations for the DH system for Beograd with CHP units of 210MW and 300MW power in Thermal Power Plant "Nikola Tesla" – A are also presented. The procedure is based on the route of energy calculation using numerical integration of power along the heat load duration curve.

Кључне речи: спрегнута производња (СПЕТЕ); даљинско грејање; билансирање енергије; конзервација енергије

Key words: enegry balance; energy conservation; combined heat and power (CHP); district-heating (DH) system

1. Увод

Билансирање енергије у системима даљинског грејања, може се, у принципу, вршити експериментално и рачунски. Експерименталном билансирању и одређивању појединих енергетских токова приступа се у циљу утврђивања испуњења пројектних вредности, или ради дефинисања стварног енергетског стања система после дуже експлоатације и, евентуално, извршене доградње или реконструкције.

Рачунско или нумеричко билансирање често се користи при изради feassibility студија, као основа за одређивање вредности трошкова и вредности прихода, и при пројектовању, обично на нивоу креирања концепта или концепцијског пројекта, ради егзактног упоређивања разматраних варијанти пројектних решења.

Савремени системи даљинског грејања могу да буду врло сложени, са више извора базне топлоте који имају и различите енергетске карактеристике и који могу бити различито ангажовани у електроенергетском и у топлотно-енергетском систему, са више извора вршне топлоте који опет могу да имају

различите енергетске карактеристике и да буду на различите начине ангажовани. Осим тога, поједини делови система – дистрибутивне мреже – могу имати различите температуре носиоца топлоте и уопште различите температурске карактеристике. У овом раду је изложен приступ изради алгоритма за компјутерски програм билансирања таквих сложених система даљинског грејања.

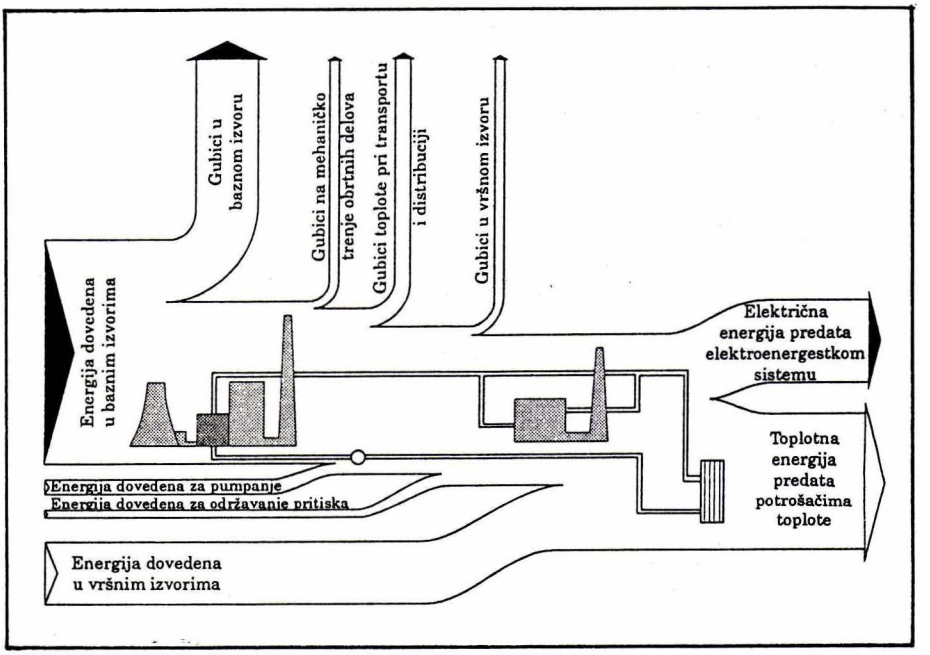
2. Полазне поставке

Билансом морају бити обухваћени сви токови енергије који улазе у систем – енергетски импути и сви токови енергије која излази из система (корисна енергија и сви губици). Енергетски импути су потрошња горива у базним и вршним изворима топлоте и потрошња енергије за одвијање процеса у систему као што су транспорт носиоца топлоте, одржавање притиска, хемијска припрема воде и слично. Губици енергије настају због њене предаје околини. При томе разликујемо две врсте губитака топлоте: због одавања топлоте кроз зидове делова опреме и због одвођења топлоте настале при механичком трењу. Сви ови енергетски токови шематски су приказани на слици 1. На овој слици видимо да су границе посматраног система – према електроенергетском систему: високонапонски намотај блок-трафоа (праг електране); према топлотно-енергетском систему: обухвата све, укључујући и потрошаче топлоте. Посматрање само базног извора топлоте са спрегнутом производњом електричне и топлотне енергије без осталих делова топлотно-енергетског система може довести до погрешних закључака.

Период за који се врши билансирање може бити грејна сезона или, боље, цела година. Због тога дијаграм просечног трајања топлотног оптерећења мора да буде познат, било у графичком, било у табеларном облику. Трајање рада турбине у електроенергетском систему обично се узима у фиксном износу и то 4 500–5 500 h/god., за постројења која раде у средњем делу дијаграма оптерећења електроенергетског система, и 6 000–6 500 h/god., за постројења која раде у базном делу дијаграма оптерећења електроенергетског система, увек сведено на максималну инсталисану електричну снагу турбине, односно термоелектране-топлане. За прецизније анализе, ово укупно време рада може да се разложи на грејну сезону и остали део године, или на месеце у години.

Техничко решење система даљинског грејања у дефинисаним границама, одговарајуће карактеристике свих главних делова опреме, геометрија цевовода и слично, морају бити познати. Температурске карактеристике система даљинског грејања, односно појединих његових делова, када их је више, такође морају бити познате.

Техничко решење референтног система даљинског грејања приказано је шематски на слици 2. Оно обухвата два извора базне топлотне енергије (B_1 i B_2), са спрегнутом производњом електричне и топлотне енергије (СПЕТЕ), који имају различите енергетске карактеристике и три дистрибутивне мреже, од којих две имају исте, а једна различиту температурску карактеристику. Две мреже истих температурских карактеристика повезане су са базним топлотним извором преко посебног система за пренос топлоте на даљину и то једна директно, а друга индиректно – преко одговарајућих размењивача топлоте. Ове две мреже имају изворе вршне топлоте (V_1 i V_2), док их трећа нема. Пумпне станице су приказане само симболично (нису уцртане све пумпне станице).



Слика 1. Шематски приказ енергетских токова у систему даљинског грејања са изворима за спрегнуту производњу

3. Аналитичко одређивање енергетских токова

Укупну топлотну енергију коју преузму потрошачи топлоте у просечној сезони грејања добијамо интеграцијом криве трајања топлотног оптерећења. Производња базне топлоте у базном извору E_{tb}, одређује се нумеричком интеграцијом трајања топлотног оптерећења базног извора. Ова топлотна енергија може се изразити и као функција удела снаге базног извора у максималној топлотној снази система.

Количина горива – мазута и гаса – која се коришћењем спрегнуте производње супституише у току просечне сезоне грејања, израчунава се према једначини:

$$B_{st} = \frac{Q_b}{H_d \cdot \eta_k} \tag{1}$$

где је H_d (MJ/t) топлотна моћ еквивалентног горива, које се у конкретном случају састоји из 55% мазута и 45% природног гаса (H_d = 37 454 MJ/t), а $\eta_\kappa(-)$ степен корисности котла који сагорева еквивалентно гориво. Рачунато је са η_κ = 85%, што је, међутим, изнад уобичајеног годишњег просека.

Вршна топлотна енергија E_{tv}, произведена у току просечне сезоне грејања у вршним изворима V_1 и V_2, израчунава се као разлика укупно потрошене

топлотне енергије и оне произведене у базним изворима. Потрошња горива за производњу вршне топлотне енергије израчунава се, аналогно претходном, помоћу једначине:

$$B_v = \frac{Q_v}{H_d \cdot \eta_k} \tag{2}$$

Смањење производње електричне енергије у базном извору због спрегнуте производње електричне и топлотне енергије израчунава се нумеричком интеграцијом смањења електричне снаге нето, насталог у базном извору због спрегнуте производње електричне и топлотне енергије, дуж криве трајања топлотног оптерећења базног извора. Овакав поступак израчунавања је потребан пошто износ смањења електричне снаге, у општем случају, зависи од топлотног оптерећења, односно, мења се дуж криве трајања топлотног оптерећења.

Смањење електричне снаге нето у базним изворима израчунава се према следећој једначини:

$$\Delta p_e = \Delta p_{e1} \cdot \eta_{tr1} + (p_2 \cdot Q_2) \cdot \eta_{tr2} \tag{3}$$

где је:

ΔP_{e1} (MW) – смањење електричне снаге на стезаљкама генератора базног извора B_1,

Q_2 (MJ/s) – топлотна снага базног извора 2,

p_2 (MW/MJ/s)– специфично смањење електричне снаге базног извора B_2,

η_{btr1} (–) – степен корисности блок-трансформатора базног извора B_1,

η_{btr2} (–) – степен корисности блок-трансформатора базног извора B_2.

Смањење електричне снаге базног извора 2 је линеарна функција специфичног смањења електричне снаге p. Смањење електричне снаге базног извора 1 није линеарна функција специфичног смањења електричне снаге p, па се бројна вредност овог смањења мора одредити из познате енергетске карактеристике тога извора. Ако би, на пример, мрежа даљинског грејања 1 припадала другом власнику и ако је потребно да се енергетски биланс прави само за оба базна извора и за мреже 2 и 3 (заједно са њиховим вршним изворима), онда смањење електричне снаге нето у базним изворима израчунавамо према следећој једначини:

$$\Delta p_e = \left(\Delta p_{e1} \cdot \frac{Q_1^B}{Q_1^B + Q_1^0} \right) \cdot \eta_{tr1} + (p_2 \cdot Q_2) \cdot \eta_{tr2} \tag{4}$$

где је $Q^B{}_1$ (MJ/)s топлотна снага базног извора B_1 за мреже даљинског грејања 2 и 3, а $Q^O{}_1$ (MJ/s) топлотна снага базног извора B_1 за мрежу даљинског грејања 1.

При извођењу једначина (3) и (4), имплицитно је садржана претпоставка да сви електромотори у термоелектрани морају да раде истом снагом којом би радили да нема овог смањења снаге, па сопствена потрошња електричне енергије у базном извору са СПЕТЕ остаје иста као и при чисто кондензационом режиму његовог рада. Изузетак би могли бити мотори за погон пумпи расхлад-

не воде, пошто је у режиму грејања потребна мања количина расхладне воде. Међутим, при спрегнутој производњи, губици у блок-трафоу ће бити сигурно мањи, јер ће и снага на њему бити мања. Због тога, да бисмо израчунали нето смањење електричне снаге потребно је вредност бруто смањења помножити степеном корисности блок-трафоа.

Строго гледано, степен корисности блок–трафоа зависи од тренутне вредности његове снаге. Због тога изгледа коректније да се за рачун користи еквивалентни степен корисности блок-трафоа, који је одређен следећом једначином:

$$\eta_{TRe} = \frac{p_{ek} - p_{et} \cdot \frac{\eta_{TRt}}{\eta_{TRk}}}{\Delta p_e} \cdot \eta_{TRk} \tag{5}$$

При томе су:

P_{ek} (MW) – електрична снага у кондензационом режиму,
P_{et} (MW) – електрична снага у грејном режиму,
η_{TRk} (–) – степен корисности блок-трафоа у кондензационом режиму,
η_{TRk} (–) – степен корисности блок-трафоа у грејном режиму.

Снага којом се струја узима из мреже за покретање електромоторних пумпи одређена је изразом:

$$p_{Pe} = \frac{P_p}{P_{EM}} = \frac{G \cdot \Delta p}{\rho \cdot \eta_{Pi} \cdot \eta_{Pm} \cdot \eta_{Em}} \tag{6}$$

При томе су:

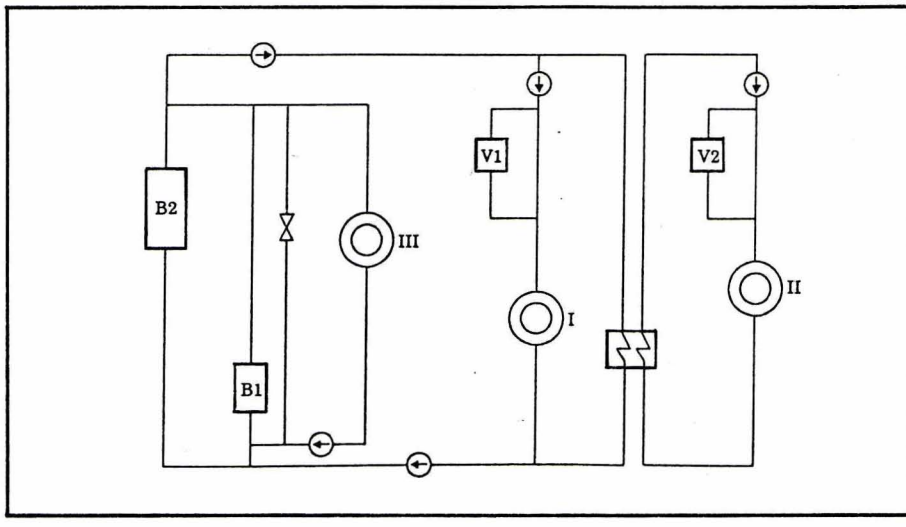
G (kg/s) – проток воде,
Δp (Pa) – напор пумпе,
ρ (kg/m^3) – специфична тежина воде на радној температури,
η_{Pi} (–) – унутрашњи степен корисности пумпе,
η_{Pm} (–) – механички степен корисности пумпе,
η_{Em} (–) – степен корисности електромотора.

Проток воде кроз систем за пренос топлоте до мреже даљинског грејања "1" и "2" може се мењати зависно од температуре спољњег ваздуха. Потрошња енергије за пумпање одређује се нумеричком интеграцијом снаге дуж криве трајања топлотног оптерећења. При томе, тако израчуната потрошња електричне енергије није у целини изгубљена. Наиме, један део те енергије троши се на повећање енталпије воде и, према томе, може да буде искоришћен у систему. Тај део енергије израчунава се нумеричком интеграцијом одговарајућег израза за снагу дефинисаног једначином (7) дуж криве трајања топлотног оптерећења.

$$P_h = \frac{G \cdot \Delta p}{\rho \cdot \eta_{Pi}} \tag{7}$$

Помоћу једначина (1) до (7), можемо да израчунамо снаге у свим енергетским токовима на слици 1. Применом мање-више стандардног метода нумеричке интеграције ових снага дуж криве трајања топлотног оптерећења,

можемо одредити и количине енергије које у току сезоне грејања прођу кроз сваки од ових токова.



Слика 2. Шематски приказ техничког решења референтног система даљинског грејања

Табела 1. Резултати енергетског биланса за референтни систем даљинског грејања

Година	Укупна производ. топлотне енергије Qu(GWh)	Потребна количина горива Bu (t/god.)	Топлотна енергија из ТЕНТ Qb(GWh)	Топлотна енергија из топлана Qv (GWh)	Потрошња горива у топланама Bv (t/god.)	Потрошња енергије за пумпање EPe (MWh)	Део енергије пумпања остао у систему (MWh)	Смањење производ-ње елек-тричне енергије ΔE_e^n	Супсти-туисана количина горива Bb (t/god.)
2001.	1 274	144 064	1 234,5	39,5	4 466	4 111	3 555	244 064	139 598
2002.	1 287	145 534	1 244,5	42,4	4 803	4 165	3 601	247 536	140 731
2003.	1 301	147 117	1 256,8	44,2	5 002	4 220	3 649	251 068	142 115
2004.	1 314	148 587	1 268	46,0	5 201	4 275	3 697	254 650	143 387
2005.	1 328	150 170	1 278,9	49,1	5 556	4 331	3 745	258 272	144 614
2006.	1 342	151 753	1 289,7	52,3	5 918	4 388	3 794	261 954	145 835
2007.	1 356	153 336	1 301,8	54,2	6 133	4 446	3 844	265 695	147 203
2008.	1 368	154 693	1 311,9	56,1	6 342	4 504	3 895	269 476	148 351

4. Резултати

Према приказаном аналитичком поступку, направљени су енергетски биланси за период од осам година. За билансирање је узет референтни систем даљинског грејања два подручја Београда – Нови Београд и Дунав са ТЕ "Никола Тесла" – А као базним извором топлоте и вреловодним котловима у самим подручјима као вршним изворима топлоте. Претпостављено је да ови котлови троше већ поменуто стандардно гориво доње топлотне моћи H_d = 37 454 MJ/t. Добијени резултати приказани су у табели број 1. Прорачуни су рађени за случај трајања ложења 16 h/dan и исте – просечне метеоролошке услове у свим годинама.

5. Закључак

Приказан је релативно једноставан аналитички поступак за билансирање сложених система за даљинско грејање. Поступак може поуздано да се користи за оцене варијантних решења снабдевања електричних и топлотних система у посматраном раду. Осим тога, он је погодан и за оцену квантитативне разлике спрегнуте у односу на појединачну производњу у случају конкретних система даљинског грејања.

6. Литература

[1] *** * *:** *Feassibility студија изградње система даљинског грејања у Београду,* CES MECON, Београд, јул 1995.

[2] **Olsson, C., Penten P. and Sejlitz G.:** *Computer Programme for the Optimization of heating and electricity production in Helsingborg*, FWI, 1986. (15) No. 5, pp. 291–296.

[3] **Flurschutz, E.:** *Einordnung der Kraft–Wärme-Kopplung in einen überörtlichen Stromverbund*, FWI, 1979. (8), Nr. 3, S. 99–102.