UDK 621.311.162

Kombinirana in ločena proizvodnja električne in toplotne energije z upoštevanjem dinamike porabe toplote

DUŠAN POLJAK

V razpravi o proizvodnji električne in toplotne energije v toplarnah v [5] ni bila upoštevana dinamika porabe, ki določa potrebno proizvodnjo energije in potrebno moč, kar prek srednje specifične obremenitve ogrevalne mreže ε v enačbi (1)

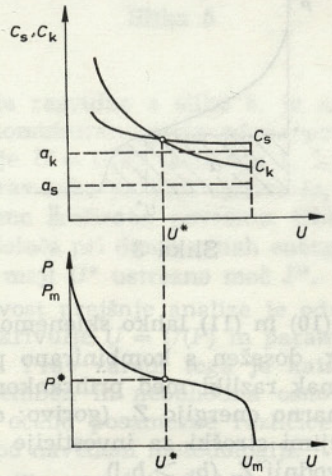
$$C_Q = \eta_L \left(C_{Qp} - \frac{a\, a_L}{\varepsilon} \right) \frac{\text{din}}{\text{GWh}} \tag{1}$$

tudi vpliva na rentabilnost oziroma konkurenčnost daljinskega ogrevanja iz toplarne oziroma kombinirane proizvodnje električne in toplotne energije.

V enačbi (1) so:

C_Q — cena toplotne energije na pragu toplarne,
η_L — letni izkoristek ogrevalne mreže,
a_L — povprečni specifični stroški za ogrevalno mrežo din/km,
a — letni koeficient (anuitete, vzdrževanje itd.),
ε — srednja specifična obremenitev ogrevalne mreže GWh/km leto.

Če letno potrebo po toploti Q prikažemo s krivuljo potrebne toplotne moči P_i kot funkcijo števila ur U_i za proizvodnjo potrebne toplote Q [1], ceno toplote pri kombinirani proizvodnji (indeks k) in ločeni, samostojni proizvodnji (indeks s) pa s funkcijo hiperboličnega tipa, kjer vzamemo za vodoravno asimptoto stroške, ki so sorazmerni s proizvedeno toplotno energijo, lahko zapišemo (slika 1):



Slika 1
P_m — največja toplotna moč
U_m — največje število ur na leto (8760)

$$C_k = a_k + \frac{b_k}{U} \quad ; \quad C_s = a_s + \frac{b_s}{U} \tag{2}$$

pri čemer pomenijo:

C — ceno enote toplotne energije din/kWh,
a — stroške, sorazmerne proizvedeni energiji (neodvisni od U) (gorivo itd.) din/kWh,
b — stroške službe vloženega kapitala (anuitete), obratovalne stroške itd. na enoto toplotne moči din/KW.

Običajno razmerje stroškov oziroma cen toplote kombinirane in ločene proizvodnje je

$$a_k < a_s \quad \text{in} \quad b_k > b_s \tag{3}$$

V splošnem je neka doba polnega izkoriščenja ogrevalne mreže U^*, v zvezi s katero sledi za primer $U > U^*$ ugotovitev, da je kombinirana proizvodnja ekonomsko upravičena; nasprotno pa primer $U < U^*$ govori v prid samostojne (ločene) proizvodnje toplotne energije. Pri tem je mejna vrednost U^*, pri kateri je kombinirana proizvodnja toplote še konkurenčna samostojni proizvodnji, določena z enačbo (4), ki izhaja iz enačbe (2) in neenačb (3)

$$a_k + \frac{b_k}{U^*} = a_s + \frac{b_s}{U^*}$$

oziroma

$$U^* = \frac{b_s - b_k}{a_k - a_s}$$

kar z upoštevanjem neenačb (3) lahko zapišemo

$$U^* = \frac{b_k - b_s}{a_s - a_k} \tag{4}$$

Primerjava kombinirane in ločene proizvodnje z upoštevanjem transporta toplote

Prejšnja obravnava oziroma primerjava temelji na predpostavki, da so stroški energije pri porabniku za oba načina proizvodnje toplote enaki. Pri tem pa je, ne da bi se spuščali v ekonomsko analizo porazdelitve toplote, treba upoštevati, da je pri ogrevanju strnjenih naselij (mest) proizvodnja toplote (toplarna) navadno precej oddaljena od mesta njene porabe oziroma, da so porabniki vsaj bolj ali manj raztreseni. To pomeni povečanje v prejšnjem poglavju upoštevanih stroškov za stroške transporta in porazdelitve toplote, kar lahko rentabilnostno mejo U^* na sliki 1 pomakne v desno, tj. v korist samostojne proizvodnje toplotne energije.

Če upoštevamo, da se enote za samostojno proizvodnjo toplote zaradi manjših potrebnih zmogljivosti laže postavijo bliže večjemu številu, četudi manjšim, vendar ozemeljsko bolj zaokroženim porabniškim kompleksom, lahko od enačb (2) pri upoštevanju transportnih stroškov enačba za samostojno proizvodnjo ostane nespremenjena. Če vzamemo, da so pri kombinirani proizvodnji stroški za prenos toplote v prvem približku sorazmerni z razdaljo l in obratno sorazmerni z izkoriščenostjo cevovodov U, lahko napišemo enačbi (2) v obliki

$$C_s = a_s + \frac{b_s}{U_t}$$

$$C_k = a_k + \frac{b_k + lb_t}{U_t} \qquad (5)$$

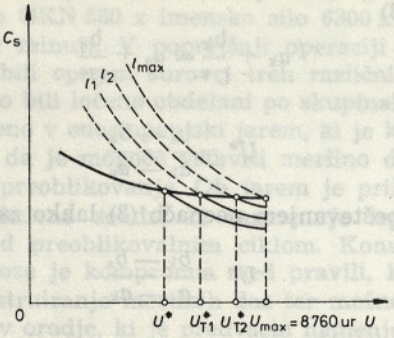
kjer pomeni

b_t — fiksne letne stroške na transportno enoto (cevovod in oprema) in enoto toplotne moči din/kWm.

Če torej upoštevamo dodatne stroške za transport toplote po enačbah (3) in (5), izhaja iz pogoja enakih cen $C_s = C_k$ mejna vrednost U_t^*

$$U_t^* = \frac{b_k - b_s}{a_s - a_k} + \frac{lb_t}{a_s - a_k} = U^* + \frac{lb_t}{a_s - a_k} \qquad (6)$$

V enačbi (6) je U^* meja rentabilnosti kombinirane proizvodnje brez upoštevanja transportnih stroškov. Ustrezen premik meje rentabilnosti proti večjim U zaradi stroškov transporta toplote je razviden na sliki 2.



Sl. 2. *Cena toplote pri upoštevanju transportnih stroškov*

S slike 2 je razvidno, da je neka največja razdalja l_{max}, od katere naprej kombinirana proizvodnja ni več ekonomsko upravičena. Ta razdalja l_{max} izhaja iz enačb (6) in pogoja $C_k = C_s$ za $U_T^* = 8760$ ur

$$8760 = U^* + \frac{l_{max}\, b_t}{a_s - a_k}$$

iz česar izhaja

$$l_{max} = \frac{(a_s - a_k)\,(8760 - U^*)}{b_t} \qquad (7)$$

Za $l > l_{max}$ kombinirana proizvodnja ni več ekonomsko upravičena.

Prihranek pri nadomestilu ločene (samostojne) proizvodnje s kombinirano

Prihranek, dosežen s kombinirano nasproti ločeni proizvodnji pri $U > U^*$ za ustrezno razdaljo $l < l_{max}$, kaže razlika cen energije, proizvedene po enem ali drugem načinu (ločeno ali kombinirano). Cena ločeno proizvedene toplote je

$$C_s = \int_0^{P_{max}} C_s U \, dP = \int_0^{P_{max}} (a_s U + b_s)\, dP \qquad (8)$$

Če del te samostojne proizvodnje (v območju $U > U^*$) nadomestimo s kombinirano, dobimo pri veljavnosti povsem realne predpostavke po neenačbah (3) ceno delno samostojno, delno kombinirano proizvedene toplote po enačbi

$$C_k = \int_0^{P^*} (a_k U + b_k)\, dP + \int_0^{P_{max}} (a_s U + b_s)\, dP \qquad (9)$$

Prihranek, dosežen z delno nadomestitvijo samostojne proizvodnje s kombinirano je

$$Z = \int_0^{P^*} (a_s U + b_s)\, dP - \int_0^{P^*} (a_k U + b_k)\, dP - \int_{P^*}^{P_{max}} (a_s U + b_s)\, dP$$

Od koder dobimo z upoštevanjem

$$\int_0^{P^*} U \, dP = Q_k$$

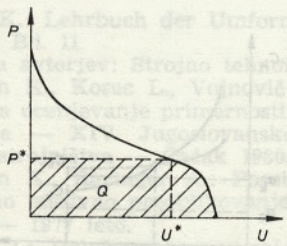
$$Z = (a_s - a_k)\, Q_k - (b_k - b_s)\, P^* = Z_1 - Z_2 \qquad (10)$$

Iz enačb (4) in (10) izhaja

$$Z = (a_s - a_k)\, Q_k - P^* U^* (a_s - a_k)$$

oziroma

$$Z = (a_s - a_k)\,(Q_k - P^* U^*) \qquad (11)$$



Slika 3

Iz enačb (10) in (11) lahko sklenemo:

Prihranek, dosežen s kombinirano proizvodnjo toplote, je enak razliki med prihrankom pri stroških za primarno energijo Z_1 (gorivo: $a_s > a_k$!) in navadno večjimi stroški za investicije pri kombinirani proizvodnji Z_2 ($b_k > b_s$!).

Prihranek Z kot funkcija toplotne moči doseže največjo vrednost Z_{max} pri tisti mejni moči P_L, ki jo dobimo iz

$$\frac{\partial(Z)}{\partial P_L} = \frac{\partial}{\partial P_L}\left[(a_s - a_k)\int_0^{P_L} U\,dP - (b_k - b_s)\int_0^{P_L} dP\right] = 0$$

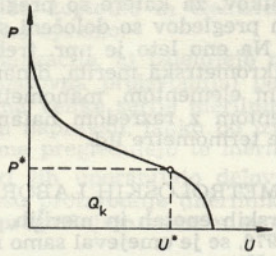
oziroma

$$(a_s - a_k)\,U(P_L) - (b_k - b_s) = 0$$

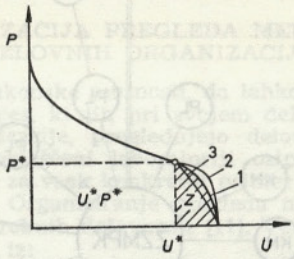
$$U(P_L) := \frac{b_k - b_s}{a_s - a_k} = U^*$$

Ker je $U^* = U(P^*)$, je $P_L = P^*$ in $Z_{max} = Z^*$.

Celoten prihranek Z, ki ga dosežemo s kombinirano proizvodnjo, je potemtakem enak razliki proizvedeni energiji sorazmernih stroškov $a_s - a_k$ (stroškov, ki so neodvisni od U: npr. za gorivo) za proizvodnjo toplote med U^* in $U = 8760$ ur (šrafirana ploskev na sliki 5).



Slika 4



Slika 5

Kakor je razvidno s slike 5, je za prihranek, dosežen s kombinirano proizvodnjo, pomembna oblika krivulje $U = U(P)$ (krivulje 1, 2, 3) in vrednosti U^*, prav tako pa tudi razlika $(a_s - a_k)$, s katero množimo šrafirano površino. Oblika krivulje $U = U(P)$ določa pri danih cenah energije tudi rentabilnostni meji U^* ustrezno moč P^*.

Zanesljivost prejšnje analize je odvisna od zanesljivosti krivulje $U = U(P)$ in parametrov, ki na to vplivajo. Prav zaradi tega je kataster teh izredno pomemben in neobhodna osnova za vrednotenje in oceno posamezne različice daljinskega ogrevanja po navedeni metodologiji.

Iz prejšnjih ugotovitev izhaja, da je združevanje termoelektrarn oziroma toplarn v sistem toplotnega oskrbovanja strnjenih naselij ali tehnoloških postrojev zelo kompleksne narave. Pričujoča razprava je usmerjena predvsem v takšno analizo vpliva glavnih dejavnikov, ki omogočajo tehnično-ekonomsko vrednotenje posameznih različic daljinskega ogrevanja, upoštevajoč pri tem proizvodnjo, transport, razdelitev in časovni potek potreb po toploti in toplotni moči obravnavane različice na temelju naslednjih najpomembnejših rezultatov študije:

1. Ekonomska upravičenost daljinskega ogrevanja s kombinirano proizvodnjo toplote je omejena navzdol z nekim največjim številom ur (U^*) potrebne toplotne moči (P^*), ki sta odvisni od oblike funkcije $U = U(P)$ in poteka stalnih in sorazmernih stroškov proizvodnje in dobave toplote (slika 1).

2. Večja ekonomičnost kombinirane proti ločeni proizvodnji ni odvisna samo od razlike cene goriva in preostalih proizvodnji sorazmernih stroškov pri enem in drugem načinu proizvodnje sekundarnih energij, ampak tudi od potrebe po toploti oziroma toplotni moči v odvisnosti od števila ustreznih obratovalnih ur.

3. Prihranek primarne energije je predvsem funkcija deleža proizvedene električne energije. Ta namreč na prihranek primarne energije (goriva) vpliva najmočneje (enačba (4) v [5]).

4. Pri določenih stalnih in sorazmernih stroških je neka največja razdalja l_{max} za transport toplote, nad katero kombinirana proti ločeni proizvodnji sekundarnih energij za preskrbo s toploto ni več ekonomsko upravičena (slika 2).

Opravljena analiza omogoča precej hitro oceno posamezne različice, katere zanesljivost je tolikšna, kolikršna je zanesljivost izhodnih parametrov. Zaradi tega je treba v prihodnje vlagati napore v ugotavljanje vrednosti odločujočih parametrov, brez katerih je ocena sistemov te vrste problematična.

LITERATURA

[1] Hansen, Leserauwaet, Ramaekers: Integration des centrales thermiques dans les systèmes de distribution de chaleur industrielle et urbaine. Journées internationales d'Étude des Centrales Électriques Modernes, Liège 1978.

[2] Musil: Die Möglichkeiten und die wirtschaftliche Bedeutung der Heizkraftkupplung in der öffentlichen Elektrizitätsversorgung. VDI Berichte 236, Energietechnische Tagung 1975, Düsseldorf.

[3] Musil: Allgemeine Energiewirtschaftslehre, Springer-Verlag, Wien 1972.

[4] Arbeitsgemeinschaft Fernwärme bei der VDEV: Hauptbericht 1972 über die Fernwärmeversorgung im Bundesgebiet, einschliesslich Berlin (West) FWI 1973, Heft 5.

[5] Poljak, D.: Daljinsko ogrevanje z izkoriščanjem toplote iz TE-TO pri kombinirani proizvodnji električne in toplotne energije, SV 1981/1—3.

Avtorjev naslov: prof. dr. ing. Dušan Poljak,
Fakulteta za strojništvo
v Ljubljani