

UDK 697.34

Racionalnost uporabe primarnih virov energije pri daljinskem ogrevanju iz toplarn

DUŠAN POLJAK

Uvod

Namen razprave je prikazati pridobivanje in uporabo toplote na način, ki bi omogočal vrednotenje različnih možnosti z vidika čimboljših rešitev daljinskega ogrevanja strnjenih naselij. Naloga je zapletena in težavna. Omogoča naj čimbolj splošno uporabo, zajame pa čimveč različnih vplivov, katerih pomembnost pa je v posameznih primerih lahko zelo različna. Zato je razprava zasnovana tako, da dopušča spremembo upoštevanih vplivov in s tem ostaja v veljavi tudi ob bodočem razvoju daljinskega ogrevanja in električnega omrežja, ki sta v veliki meri odvisna od urbanistične, gospodarske in kulturne rasti obravnavanega območja.

Toplota naj se izkorišča ob čim racionalnejši porabi primarnih virov energije pri čimmanjšem onesnaževanju okolja. To pomeni racionalizacijo proizvodnje (transformacije), transporta in porabe vseh vrst primarne in sekundarne energije. Racionalnost na vseh področjih energijskega gospodarstva lahko šele da pričakovane rezultate. Pri tem dobiva ekološki vidik vedno večji pomen glede na ožje in kratkoročno gospodarjenje, ki lahko izhaja iz trenutnih finančnih in materialnih vplivov. Zato

postaja širše in dolgoročneje vrednotenje te vrste sistemov vedno pomembnejše.

Izhodišče za prvo oceno ogrevalnega sistema je njegova ekonomska sprejemljivost v ožjem pomenu besede. Ta je namreč izračunom dostopnejša in je lahko prvi korak oziroma osnova za nadaljnje vrednotenje obravnavanih sistemov tudi z drugih pomembnih, vendar ekonomskemu računu manj dostopnih vidikov (ekološkega, sociološkega itd.). Ta razprava opisuje prav ta prvi korak, tj. takšen prikaz kombinirane proizvodnje toplotne in električne energije v toplarnah v primerjavi z njuno samostojno proizvodnjo, ki omogoča oceno sistema z ekonomskega vidika oziroma vidika rentabilnosti.

Prednosti izkoriščanja toplote pri kombiniranem pridobivanju električne in toplotne energije

Prednosti takega ogrevanja so:

1. Proizvodnja električne energije ob hkratnem izkoriščanju dela toplote za ogrevanje je tako gospodarno izkoriščanje primarnih energijskih virov (goriv), kakršnega ne dosegamo pri nobeni dandanes znani in uporabljeni transformaciji energije (slika 1).

Način proizvodnje (sekundarne) energije: električne oziroma toplotne	— centralna kurjava — električni tok iz termoelektrarne	— ogrevanje z elektriko — električni tok iz termoelektrarne	— daljinsko ogrevanje — ločena proizvodnja toplote (TC) in elektrike (TE)	— daljinsko ogrevanje — kombinirana proizvodnja toplote in električne energije (TO)
Poraba primarne energije B	proizvodnja toplote $\eta = 70\%$ 1,43 kWh	proizvodnja električne energije $\eta = 35\%$ 5,71 kWh	proizvodnja toplote $\eta = 85\%$ 1,18 kWh	proizvodnja električne energije in toplote $\eta = 85\%$ 2,35 kWh
	proizvodnja električne energije $\eta = 35\%$ 2,86 kWh		proizvodnja električne energije $\eta = 35\%$ 2,86 kWh	
Skupno kWh	4,29	5,71	4,04	2,35

Sl. 1. Poraba primarne energije B za proizvodnjo 1 kWh toplote Q in 1 kWh električne energije E pri štirih različnih načinih proizvodnje

Upoštevani izkoristki: kotla centralne kurjave $\eta = 70\%$; kondenzacijske termoelektrarne $\eta_{TE} = 35\%$; toplotne centrale $\eta_{TO} = 85\%$; toplarne $\eta_{TO} = 85\%$, $\sigma = E/Q = 1$

2. Zgorevanje v sodobno konstruiranih in strokovno streženih kuriščih z visokim izkoristkom, pomeni varčevanje z vedno bolj dragocenimi primarnimi viri energije. Zgorevalni proces v takšnem kurišču najmanj onesnažuje okolje s pepelom in dimnimi plini.

3. S toplarnami v veliki meri izključujemo tehnično veliko bolj pomanjkljiva in strokovno slabše strežena posamezna majhna kurišča, v katerih je zgorevanje večinoma slabo in negospodarno, kar ima za posledico neracionalno izkoriščanje primarnih energijskih virov in onesnaževanja okolja.

4. Ustrezno deležu protitlačnega pogona toplotne se zmanjša poraba hladilne vode, kar pomeni zmanjšanje toplotne obremenitve rek in potokov, pri hlajenju s hladilnimi stolpi, pa zmanjšanje njihovega kvarnega vpliva na okolje.

Prihranek primarne energije pri kombinirani proizvodnji nasproti ločeni proizvodnji toplotne in električne energije

Splošnejšo primerjavo kombinirane z ločeno proizvodnjo električne in toplotne energije ter mehanizem prihranka primarne energije pri kombinirani proizvodnji omogoča naslednja bilanca [1].

V kombiniranem procesu v toplotni proizvedemo iz primarne energije B_k električno energijo E in toploto Q tako, da velja

$$B_k = \frac{E + Q}{\eta_{TO}}$$

pri čemer je η_{TO} izkoristek toplotarne.

Če proizvajamo električno in toplotno energijo ločeno, in sicer toplotno v toplotni centrali z izkoristkom η_{TC} , električno pa v termoelektrarni z iz-

koristkom η_{TE} , porabimo za enaki količini električne in toplotne energije E in Q naslednjo primarno energijo

$$\text{v toplotni centrali } B_{TC} = \frac{Q}{\eta_{TC}}$$

$$\text{v termoelektrarni } B_{TE} = \frac{E}{\eta_{TE}}$$

Prihranek primarne energije v kombinirani proizvodnji v primerjavi z ločeno je potem

$$Z = B_{TE} + B_{TC} - B_{TO} = \frac{E}{\eta_{TE}} + \frac{Q}{\eta_{TC}} - \frac{E + Q}{\eta_{TO}} \quad (1)$$

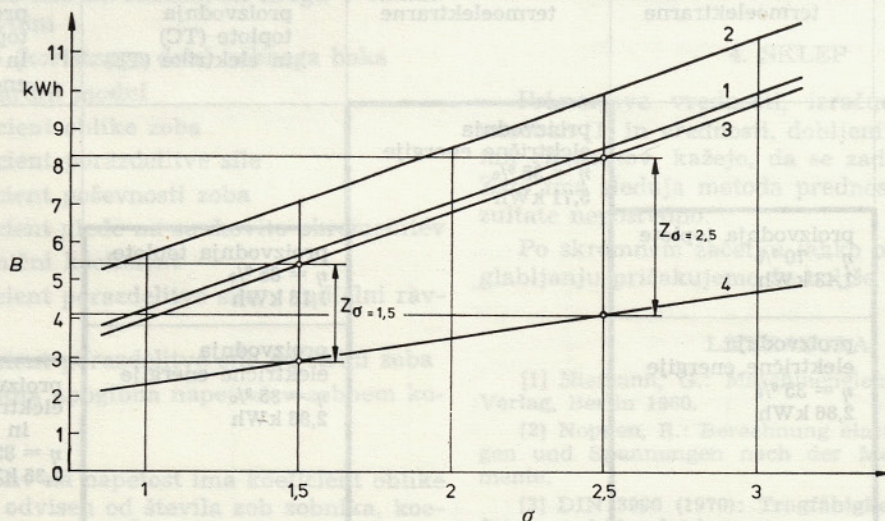
oziroma

$$Z = E \left(\frac{1}{\eta_{TE}} - \frac{1}{\eta_{TO}} \right) - Q \left(\frac{1}{\eta_{TO}} - \frac{1}{\eta_{TC}} \right) \quad (1a)$$

Kakor je razvidno iz enačbe (1a), prihranek Z primarne energije ni odvisen samo od energijskih izkoristkov postrojev, ampak tudi od deležev proizvedene toplote Q in elektrike E . Vpliv deleža proizvedene električne energije E na prihranek je tem večji, čim večja je razlika izkoristkov termoelektrarne η_{TE} in toplotarne η_{TO} ter čim manjša je razlika izkoristkov toplotarne η_{TO} in toplotne centrale η_{TC} .

V primeru enakih izkoristkov η_{TO} in η_{TC} je prihranek odvisen samo od deleža proizvedene električne energije E in seveda obeh izkoristkov η_{TE} in η_{TO} . Poraba, s tem pa posredno prihranek primarne energije za ta primer v odvisnosti od razmernika $\sigma = \frac{E}{Q}$

pri konstantni proizvodnji toplote $Q = 1 \text{ kWh}$, je razvidna na sl. 2.



Sl. 2. Poraba primarne energije B pri štirih različnih načinih proizvodnje (izkoristki kakor na sliki 1) v odvisnosti od razmernika $\sigma = E/Q$ in pri konstantni proizvodnji toplote $Q = 1 \text{ kWh}$

E — proizvedena električna energija, Q — proizvedena toplotna energija, σ — E/Q karakteristika toplotarne, energijski razmernik, B — porabljena primarna energija, Z — prihranek primarne energije

1 — E iz termoelektrarne, Q iz hišne centralne kurjave

2 — E in Q iz termoelektrarne

3 — E iz termoelektrarne, Q iz toplotne centrale (ločena proizvodnja E in Q)

4 — E in Q iz toplotarne (kombinirana proizvodnja E in Q)

Vpliv kondenzacijskega in protitlačnega deleža na izkoristek toplarne

Proces ogrevanja s toploto iz toplarn se začneja s kombinirano proizvodnjo električne in toplotne energije iz fosilnih ali jedrskih goriv. Izbiro le-teh narekujejo zelo različni in številni dejavniki: cena, zanesljivost dobave, možnosti uskladiščenja, vpliv transformacije (zgorevanja) na okolje itd. Pri tem sta cena in zanesljivost dobave zelo spremenljivi in odvisni od gospodarskega in političnega stanja doma in v svetu.

Proizvodnja električne energije v termoelektrarnah s čistim kondenzacijskim obratovanjem pomeni zelo neracionalno izkoriščanje primarnih virov (fosilnih ali jedrskih goriv). Izkoristek naprav te vrste dosega namreč v najboljšem primeru komaj 35 do 40 %. Zaradi tega je težnja po čim večji možni izključitvi oziroma rekonstrukciji kondenzacijskih termoelektrarn toliko bolj utemeljena, kolikor dražja postaja primarna energija. Gospodarske težave pri realizaciji tega pa niso zanemarljive in v veliki meri zavirajo razvoj v tej smeri ne glede na zgornje, za varčevanje s primarnimi viri energije izredno pomembno in znano spoznanje.

Skrajnost teh teženj pri toplarnah je čisti protitlačni pogon turbinskega postroja, ki izkorišča primarne energijske vire (goriva) najgospodarneje. Obratovanje te vrste pa je glede na konstantnost razmerja med proizvodnjo električne in toplotne energije manj prilagodljivo potrebam porabnikov in zaradi tega brez nadaljnega ni sprejemljivo.

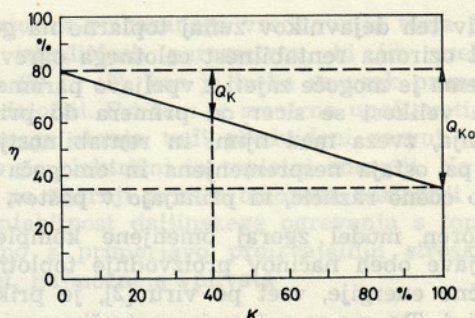
Razmerje med potrebo po električni in toplotni energiji, ki ga določajo porabniki, se namreč v splošnem spreminja (letni čas, dan, noč, delovni dnevi, prazniki, vrsta porabnikov itd.). Reševanje takih problemov v zvezi s protitlačnim obratovanjem v toplarnah je seveda zaradi najracionalnejše izrabe primarnih energijskih virov vedno aktualnejše.

Največ toplarn obratuje med obema skrajnostma: del pare ekspandira do odjemnega tlaka (protitlačni delež), preostali del pa ekspandira še naprej do tlaka kondenzacije (kondenzacijski delež), kar daje postroju večjo prilagodljivost zahtevam porabnikov.

Zanimivo informacijo s tega vidika daje slika 3 [2], ki v nekoliko poenostavljeni obliki prikazuje izkoristek avstrijskih toplarn v odvisnosti od kondenzacijskega deleža pri proizvodnji električne in toplotne energije. Pri tem je izkoristek definiran z izrazom

$$\eta = \frac{E + Q}{Q_0}$$

Ena skrajnost je čisti kondenzacijski pogon ($K = 100\%$), ki ji na sliki 3 ustreza izkoristek $\eta = 36\%$. Zanimiva in pomembna je druga skrajnost, ki ustreza kondenzacijskemu deležu $K = 0$,



Sl. 3. Izkoristek v odvisnosti od kondenzacijskega deleža pri obratovanju toplarne (kombinirana proizvodnja električne in toplotne energije)

E — proizvedena električna energija, Q — proizvedena toplotna energija, Q_0 — z gorivom dovedena toplotna energija, Q_K — s hladilno vodo odvedena toplotna energija pri 40 odstotnem deležu kondenzacije (odjemno obratovanje), Q_{K0} — s hladilno vodo odvedena toplotna energija pri 100 odstotnem deležu kondenzacije (čisto kondenzacijsko obratovanje), K — delež kondenzacije (100% delež kondenzacije ustreza čisti kondenzacijski termoelektrarni brez odjema pare za ogrevanje pri izkoristku $\eta = 36\%$)

tj. čistemu protitlačnemu pogonu, s celotnim izkoristkom $\eta = 82\%$, kar je več kakor 100 odstotno povečanje izkoristka elektrarne pri čistem kondenzacijskem pogonu. Tu tiči ena glavnih prednosti kombinirane proizvodnje električne in toplotne energije v toplarnah. Prav tako je iz diagrama razvidna količina toplote, ki jo je treba s hladilno vodo odvesti pri določenem deležu kondenzacije. Ta pri čistem protitlačnem pogonu odpade, pri mešanem pogonu pa je odvisna od kondenzacijskega deleža (na sliki 3 je vnesen primer za kondenzacijski delež $K = 40\%$).

Primerjava kombinirane in ločene proizvodnje električne in toplotne energije z upoštevanjem porabniškega vpliva

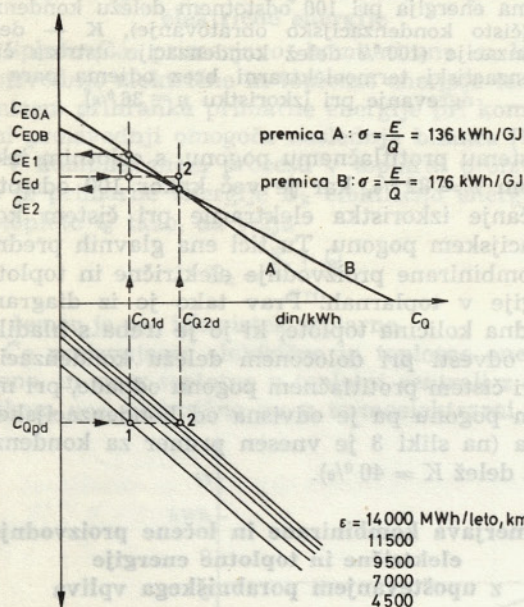
Hitrejši razvoj glede na varčevanje primarnih virov energije tako pomembnega ogrevanja s toploto iz toplarn, zavirajo ekonomske težave, ki jih povzročajo v glavnem sredstva, potrebna za izgradnjo omrežja za transport toplote do mesta porabe in njeno razdeljevanje med posamezne bolj ali manj strnjene porabnike. Velikost še sprejemljivih stroškov za te investicije pa se pomika toliko bolj navzgor, kolikor se večja cena primarnih virov energije in »vrednost« okolja.

Kompleksno ekonomsko primerjavo kombinirane in ločene proizvodnje toplotne in električne energije omogoča upoštevanje vplivnih dejavnikov pri proizvodnji, transportu in porabi toplote.

Zato so v nadaljevanju prikazani pomembnejši dejavniki, ki vplivajo na področju proizvodnje, transporta in porabe toplote na ekonomsko-tehnično vrednotenje, oziroma oceno posameznih možnih različic za daljinsko ogrevanje iz toplarn.

Vpliv teh dejavnikov zunaj toplotarne na gospodarnost oziroma rentabilnost celotnega ogrevalnega sistema je mogoče zajeti z vpeljavo parametrov, katerih velikost se sicer od primera do primera spreminja, zveza med njimi in rentabilnostjo sistema pa ostaja nespremenjena in omogoča ekonomsko oceno različic, ki prihajajo v poštev.

Nazoren model zgoraj omenjene kompleksne primerjave obeh načinov proizvodnje toplotne in električne energije, vzet po viru [2], je prikazan na sliki 4. Tu gre za primerjavo stroškov oziroma cen kombinirane nasproti ločeni proizvodnji pri porabniku, upoštevajoč pri ceni toplote C_{Q_0} tudi stroške za transport grednega medija in ogrevalno mrežo ter gostoto potrebne toplotne energije, ki določa srednjo specifično obremenitev ogrevalnega omrežja.



Sl. 4. Gospodarska karakteristika daljinskega ogrevanja z ogrevalnim omrežjem

C_E — cena električne energije, C_Q — cena toplotne energije na pragu toplotarne, C_{Q_p} — cena toplotne energije pri porabniku, $C_{Q_{pd}}$ — dopustna cena pri porabniku, C_{EO} — cena električne energije, če nosijo vse stroške proizvodnje električne in toplotne energije samo porabniki elektrike, C_{EOA} — ustreza gospodarski karakteristiki A, C_{EOB} — ustreza karakteristiki B toplotarne, $\sigma = E/Q$ energijski razmernik toplotarne

Pri toplotni energiji je izhodišče za primerjavo povprečna cena pri porabniku, pri čemer je seveda treba upoštevati stroške transporta in razdeljevanja toplote.

Povprečne stroške transporta toplote zadovoljivo posreduje enačba (5) [3].

$$K_{Qp} = \frac{K_Q}{\eta_L} + \frac{\alpha a_L}{\varepsilon} \text{ din/GWh} \quad (5)$$

pri čemer pomenijo:

K_Q — povprečne stroške toplote na pragu toplotarne $\frac{\text{din}}{\text{GWh}}$

K_{Qp} — povprečne stroške toplote pri porabniku $\frac{\text{din}}{\text{GWh}}$

η_L — letni izkoristek ogrevalne mreže

a_L — povprečne specifične stroške za ogrevalno mrežo $\frac{\text{din}}{\text{km}}$

α — letni koeficient (anuitete, vzdrževanje itd.),

ε — srednjo specifično obremenitev ogrevalne mreže GWh/km in leto.

Ceni $C_{Qp} \frac{\text{din}}{\text{GWh}}$ pri porabniku ustreza cena na pragu toplotarne [3]

$$C_Q = \eta_L \left(C_{Qp} - \frac{\alpha a_L}{\varepsilon} \right) \frac{\text{din}}{\text{GWh}} \quad (6)$$

Če so stroški proizvodnje električne energije in toplote v toplotni K_k in ceni posameznih energij C_E in C_Q , potem velja na meji rentabilnosti enačba

$$K_k = C_E E + C_Q Q \quad (7)$$

oziroma

$$\frac{K_k}{E} = C_E + \frac{Q}{E} C_Q = C_E + \frac{1}{\sigma} C_Q = C_{EO} \quad (8)$$

kjer je C_{EO} cena električne energije, če z vsemi stroški proizvodnje električne in toplotne energije obremenimo samo porabnike elektrike.

Z enačbama (6) in (8) podane odvisnosti so grafično prikazane na sl. 4. Diagram je zasnovan na pogonskih parametrih srednje velike toplotarne. Ne glede na nestalnost in veliko spremenljivost cen na vseh področjih pomeni grafično prikazana zakonitost zelo uporabno splošno zvezo najpomembnejših vplivov na gospodarnost določenih različic takega ogrevanja. S tem omogočajo pri vsaj približnem poznavanju velikosti vplivnih parametrov vrednotenje različnih in načinov izbiri najustreznejše na osnovi, za posamezni primer najbolj upoštevanja vrednih dodatnih dejavnikov (varstvo okolja, rastoče potrebe po toplotni in električni energiji, razpoložljivo gorivo in njegove rezerve itd.).

V spodnjem delu diagrama je prikazana odvisnost med ceno pri porabniku C_{Qp} in ceno na pragu toplotarne C_Q za pet različnih parametrov srednje specifične obremenitve ogrevalne mreže ε . Cena pri porabniku C_{Qp} , ki se seveda lahko giblje v dokaj širokem območju, je v glavnem odvisna:

1. od velikosti potrebne toplotne moči porabnikov, ki vpliva na pogonske stroške toplotne in njen izkoristek,

2. od tega, ali gre za nadomestilo obratovalno sposobnih že obstoječih lastnih naprav za proizvodnjo toplote ali za porabnike, ki bi morali šele zgraditi lastne toplotne naprave.

Zgornji del diagrama prikazuje gospodarski premici toplotne za dve karakteristiki, in sicer za vrednosti $\sigma = 136$ in $\sigma = 176 \frac{\text{kWh}}{\text{GJ}}$

V spodnjem delu diagrama so vrisane premice za parametre od 4500 in $14\,000 \frac{\text{MWh}}{\text{leto km}}$, kar nekako ustreza območju daljinskega ogrevanja v Zahodni Nemčiji in Avstriji [4].

Iz diagrama na sliki 4 je razvidno naslednje:

Če je C_{Qpd} še dopustna, oziroma v konkurenci z drugimi načini preskrbe s toploto še sprejemljiva cena, sledi dopustna cena na pragu elektrarne C_{Qd} , pri kateri je treba upoštevati tudi stroške transporta nosilca toplote (vroče vode ali pare). Pri tem je cena na pragu toplotne C_{Qld} dopustna (še sprejemljiva) pri srednji specifični obremenitvi $\varepsilon_1 = 4500 \frac{\text{MWh}}{\text{leto km}}$, C_{Q2d} pa pri $\varepsilon_2 = 14\,000 \frac{\text{MWh}}{\text{leto km}}$. Če je npr. karakteristika toplotne $\sigma = 136 \frac{\text{kWh}}{\text{GJ}}$ (pre-

mica A), potem bi bili pri obeh skrajnih toplotnih gostotah oziroma specifičnih obremenitvah ε_1 in ε_2 letni stroški pokriti, če bi bilo mogoče za proizvedeno električno energijo v primerjavi z drugimi načini njene dobave doseči ceno C_{E1} oziroma C_{E2} din/kWh.

Če vzamemo za primerjavo kondenzacijsko termoelektrarno, katere proizvodjalni stroški električne energije bi bili C_{Ed} , bi toplotna pri srednji specifični obremenitvi ε_1 stroškov ne pokrivala, pri večji specifični obremenitvi ε_2 pa je rentabilnejša od primerjane termoelektrarne. V prvem primeru je namreč potrebna cena električne energije C_{E1} večja kakor jo dosežemo s samo termoelektrarno

$$C_{E1} > C_{Ed}$$

v drugem pa manjša

$$C_{E2} < C_{Ed}$$

kar govori za večjo gospodarnost kombinirane proizvodnje električne in toplotne energije. Če torej leži sečišče koordinat C_{Qd} in C_{Ed} pod gospodarsko premico (točka 1), dela toplotna pri daljinskem ogrevanju z izgubo, če leži nad premico, pa prinaša dobiček.

Postopek prikazanega vrednotenja terja poznavanje izhodiščnih parametrov, ki jih vsebujeta enačbi (6) in (8), kar je treba za vsak primer posebej določiti. Pri tem je smotno upoštevati poleg trenutnega stanja tudi predvideni razvoj in rast potreb po električni in toplotni energiji. Ne glede na to pa zgornji primer omogoča naslednji sklep: na rentabilnost daljinskega ogrevanja s toplotno, izraženo s primerjavo proizvodjalnih stroškov in anuitet, najmočnejše vplivata

a) gostota porabe toplote na v pošttev prihajajočem področju (strnjenem naselju),

b) energijski razmernik σ , ki po enačbi (8) močno vpliva na C_{EO} .

Pri predpisanem protitlaku je energijski razmernik σ odvisen pri protitlačnem obratovanju, od stanja pare pri vstopu v turbino, pri mešanem obratovanju pa tudi od deleža kondenzacije.

Stanje sveže pare je odvisno od količine pare, ki teče skozi turbino, s tem posredno pa od velikosti priključene oskrbe s toploto in pare, ki teče skozi kondenzator, kar povezuje odvisnost med zgoraj omenjenima točkama a) in b). Čim manjša je vrednost razmernika σ , tem večja je cena C_{EO} , če stroške kombinirane proizvodnje naložimo samo porabnikom električne energije. Gospodarnost oziroma rentabilnost toplotne je torej v veliki meri odvisna od izbranega kondenzacijskega deleža in to tako pri dimenzioniranju kakor tudi obratovanju postroja, pri čemer pa gre seveda za čim večjo neodvisnost proizvodnje električne energije od proizvodnje toplote.

LITERATURA

[1] Hansen/Lescrauwaet/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 Heizkraftkopplung 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 Fernwärmeverversorgung im Bundesgebiet, einschliesslich Berlin (West) FW I 1973, Heft 5.

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