

Korišćenje otpadne toplote pri radu uređaja TV predajnika

Mihailo Petrović*

Danas smo svesni činjenice da više nismo tako bogati izvorima energije i da oni nisu neiscrpnii. Prinudeni smo dakle da raspoloživu energiju štedimo, odnosno da je najracionalnije iskoristimo. Međutim, još uvek postoje oblasti primene energije gde se ona rasipa, mada smo pogodnim tehničkim rešenjima u mogućnosti da je mnogo racionalnije iskoristimo. Na primer, velike količine otpadne energije kod uređaja TV i radio predajnika uopšte se ne iskorišćavaju. U ove uređaje, koji su vrlo interesantni sa gledišta iskorišćenja otpadne toplote, spadaju:

- VHF uređaji za TV program,
- UHF uređaji za TV program i
- FM uređaji za radio program.

VHF UREĐAJI

Analizom VHF uređaja koji se danas koriste na našim TV predajnicima, od ukupno instalisane energije, jedan deo se emituje, drugi se odaje u prostoriji gde su uređaji instalisani, a treći deo se odvodi hlađenjem, vazdušno ili vodom. Instalisana snaga iznosi obično oko 35—40 kW. U tabeli 1. prikazana je potrošnja energije ovih uređaja u procentima, prema podacima dobijenim od korisnika.

UHF UREĐAJI

Ova vrsta uređaja ima najveću instalisanu snagu, a samim tim najveću količinu otpadne toplote. Instalisana snaga je od 60

do 250 kW, a u specijalnim slučajevima i 1000 kW.

Snaga koju ovi uređaji odaju, procentualno izražena, data je u tabeli 2, sastavljenoj prema podacima dobijenim od korisnika.

FM UREĐAJI

Ova vrsta uređaja za emitovanje radio programa ima instalisanu snagu reda veličine 30—40 kW. Snaga koju ovi uređaji odaju, procentualno izražena, prikazana je u tabeli 3.

Iz ovih tabela može se zaključiti da se od 100% instalisane električne energije, samo oko 10—15% emituje, dok 85—90% jednostavno ostaje neiskorišćen.

Kod jednog velikog TV radio predajnika, na primer, količina otpadne toplote iznosi nekoliko miliona kcal/h. Ta količina bi se,

recimo, mogla iskoristiti za grejanje toplih leja u staklenim baštama.

Razmotrimo sada bliže problem otpadne toplote kod svih na vedelih uređaja, koji se nalaze uglavnom u sklopu objekata TV i radio predajnika.

Da bi ovi uređaji mogli dobro funkcionisati, pored ostalih uslova, vazduh, koji se koristi za hlađenje uređaja, mora biti filtriran, a njegova temperatura ne sme biti niža od +10° C niti viša od +37° C.

Činjenica koja ide u prilog direktnom iskorišćavanju otpadne toplote je da je zagrejani vazduh koji prođe kroz uređaje, čist i nezagađen, te se može direktno iskoristiti.

U jednom konkretnom slučaju, gde smo bili angažovani na jednom objektu TV i radio pre-

Tabela 1.

Proizvođač	Instalisana snaga	Emitovana snaga	Snaga koja se odaje u prostoriji	Deo instalisane snage koji se odvodi hlađenjem
SIEMENS	100%	25%	15%	60%
GATES	100%	28,5%	14,3%	57,2%
ELRAD	nema podataka			

Tabela 2.

Proizvođač	Instalisana snaga	Emitovana snaga	Snaga koja se odaje u prostoriji	Deo instalisane snage koji se odvodi hlađenjem
GATES	100%	6%	9%	85%
MARCONI	100%	7,5%	19%	73,5%

Tabela 3.

Proizvođač	Instalisana snaga	Emitovana snaga	Snaga koja se odaje u prostoriji	Deo instalisane snage koji se odvodi hlađenjem
SIEMENS	100%	67%	—	33%

* Mihailo Petrović, dipl. ing., MIP „Pobeda“, — OOUR Projektni biro, Beograd, Timočka 10

dajnika, trebalo je rešiti sledeće probleme:

a) hlađenje svih uređaja spoljnim vazduhom u okviru jednog zajedničkog filtarskog postrojenja, sa zajedničkim otvorima za uzimanje svežeg i izbacivanje otpadnog vazduha, pri čemu se razlikuju letnji i zimski režim rada postrojenja;

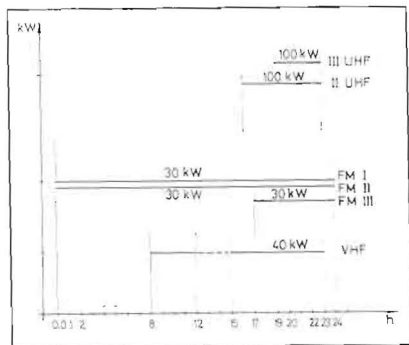
b) zaštita žaluzina i dempera od navejavanja snega i zamrzavanja;

c) grejanje prostorija otpadnom toplotom od uređaja i izmenjivača.

a) Pri rešavanju prvog problema trebalo je, pre svega, uzeti u obzir činjenicu, da uređaji nisu u neprekidnom pogonu, tj. da ne rade istovremeno i neprekidno 24 časa. Na osnovu analize rada ovih uređaja, dati su na slikama 1. i 2. grafički prikazi jednovremenosti rada uređaja, kao i dijagram snage. U ovom slučaju razlikujemo letnji i zimski režim hlađenja uređaja.

U letnjem režimu, sistem radi samo sa svežim vazduhom tako što svaki uređaj ima ugrađen ventilator koji uzima vazduh iz zajedničke filtarske mešne komore, proteruje ga kroz uređaj i potom izbacuje u sabirnu komoru za otpadni vazduh (sl. 3, 4. i 5). S obzirom da se u letnjem režimu rada količina toplote koju uređaji oslobađaju zračenjem direktno u (vazdušni) prostor sale, ne može odvesti prirodnom ventilacijom, to su u tom režimu rada za hlađenje sale predviđeni jedna ventilatorska sekcija za ubacivanje i druga za izvlačenje vazduha. One su vezane za odgovarajući kanalski razvod sa rešetkama za ubacivanje i izvlačenje vazduha. Ventilatorska sekcija za ubacivanje i izvlačenje

Sl. 1. Jednovremenost rada predajnika



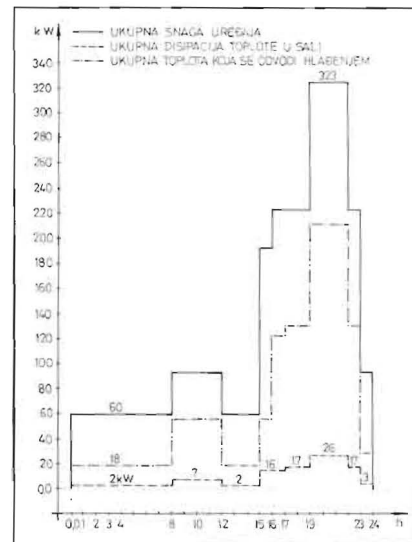
vazduha iz sale uključuje se i isključuje pomoću jednog sobnog dvopoložajnog termostata koji deluje na motor potisnog ventilatora i uključuje ga pri sobnoj temperaturi od 32–35° C. U zimskom režimu rada ovaj sistem hlađenja emisione sale ne radi.

Ukupna količina toplote koja se odvodi iz sale, uzimajući u obzir i toplotne dobitke od sunca u 14 časova, iznosi $Q_{SR} = 17\ 870$ kcal/h, a ukupno potrebna količina vazduha za hlađenje iznosi $L_{sv} = 4\ 140$ m³/h, što iznosi 9,6 izmena na čas vazduha u prostoriji.

U zimskom režimu (v. šemu kompletne instalacije na sl. 5) sistem hlađenja radi delimično sa svežim ili optičajnim vazduhom. Temperatura mešanja se održava konstantnom preko jednog sobnog proporcionalnog termostata postavljenog u zajedničku komoru za mešanje. Maksimalna količina vazduha potrebna za hlađenje svih uređaja u konkretnom slučaju iznosi $L_{max} = 49\ 640$ m³/h i jednaka je ukupnom zbiru kapaciteta ventilatora svih uređaja pri njihovom jednovremenom radu. Maksimalna količina toplote koju je u ovom slučaju potrebno odvesti hlađenjem od uređaja, iznosi približno $Q_{max} = 181\ 000$ kcal/h.

S obzirom na veliki broj priključaka za vazdušno hlađenje

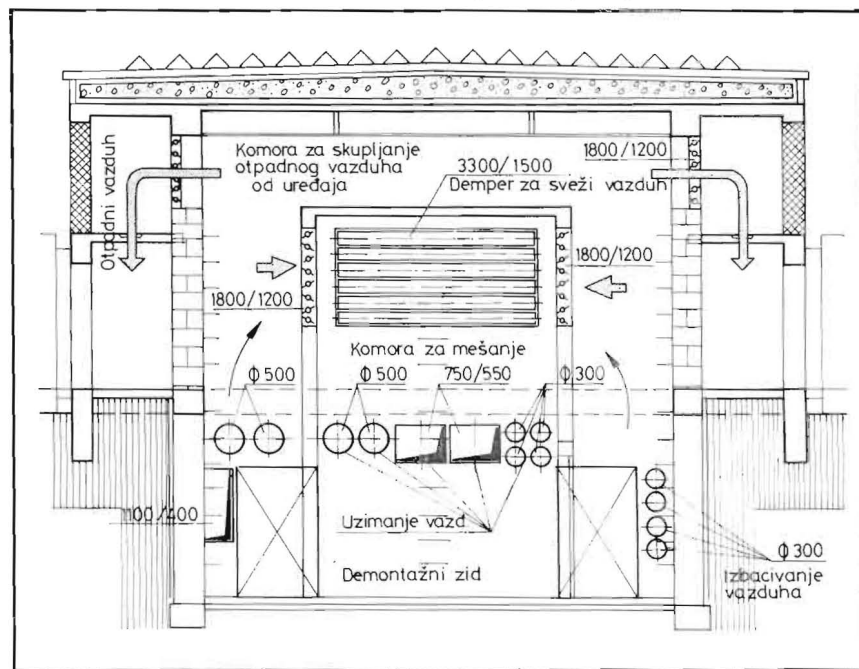
Sl. 2. Dijagram snage za predajnik



od pojedinih uređaja (čija tačna dispozicija nije još definisana), prednji zidovi komore za mešanje i komore za otpadni vazduh (sl. 3) izvedeni su kao montažni. Na mestima uzimanja svežeg, mešanja svežeg i optičajnog i izbacivanja otpadnog vazduha, predviđeni su motorni demperi koji rade sinhronizovano.

b) U vezi rešenja ovog, drugog, problema, došlo je do sporazuma između projektanata i stručne ekipe investitora da se na mestu uzimanja svežeg vazduha postavi jedna »dijagrafma«, koja će zaštititi otvor za uzimanje svežeg vazduha (sl. 3)

Sl. 3. Poprečni presek komore za mešanje i skupljanje otpadnog vazduha



od naleta vetra i navejavanja snega, s tim što se zbog promenljivog pravca vetra, vazduh može uzimati sa dve strane.

Izbacivanje otpadnog vazduha (sl. 3. i 4) rešeno je korišćenjem analognog rešenja kod brodova i vozova, naime izbacivanje vazduha na dve strane preko dve »lule«. Na otvorima za uzimanje svežeg i izbacivanje otpadnog vazduha, ugrađene su nepokretne žaluzine zaštićene žičanom mrežom.

Napominjemo da su zbog revizije motornih dempera predviđene penjalice kao i odgovarajuća limena vrata. Na dnu armirano-betonskog šahta za svež i otpadni vazduh predviđena je rešetka za odvođenje otopljenog snega u kanalizaciju. Za slučajeve eventualnog zaleđivanja dempera, predviđene su električne infragrejalice za odleđivanje.

c) Da bismo, pre svega, ovu količinu toplote mogli što racionalnije iskoristiti, morali smo je dovesti na jedan odgovarajući energetski nivo. Pri tome smo bili ograničeni s jedne strane maksimalnom dozvoljenom temperaturom izlaznog vazduha (35—37°C) od uređaja, a s druge strane samom konstrukcijom uređaja u kojem su ventilatori već ugrađeni (količinu vazduha za hlađenje nam je već dao proizvođač uređaja). Za datu koli-

činu vazduha i izračunatu temperaturnu razliku bilo je najoptimalnije da temperatura mešanja bude jednaka sobnoj temperaturi tj. od 18 do 20°C.

Naše je rešenje bilo sledeće. Za grejanje prostorija otpadnom toplotom predviđena je jedna klima komora sa ugrađenim električnim grejačem, sa stepenastim uključivanjem koja koristi delom otpadnu toplotu, a delom električni grejač. Ukupno potrebna količina toplote za grejanje pojedinih prostorija iznosi u konkretnom slučaju $Q_{tr} = 62\ 220$ kcal/h.

Interesantni vremenski intervali sa gledišta korišćenja otpadne toplote su 8—12, 15—16, 16—19, 19—22 i 22—23 časa.

Maksimalna raspoloživa količina otpadne toplote $Q_{max} = 181\ 000$ kcal/h (svi uređaji rade; period od 19 do 22 časa). Maksimalna količina otpadnog vazduha je:

$$L_{max} = 49\ 640 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t_a = -31^\circ\text{C} \text{ — spoljna projektna temperatura}$$

Maksimalna temperaturna razlika:

$$\Delta t_{max} = \frac{Q_{max}}{L_{max} \cdot C_p \cdot \gamma} = 12,7^\circ\text{C}$$

Temperatura mešanja $t_M = t_R = +20^\circ\text{C}$ (jednaka je sobnoj temperaturi).

$$t_M = \frac{L_1 \cdot 32,7 - L_2 \cdot 31}{L_{max}} \quad (1)$$

$$L_1 + L_2 = L_{max} \quad (2)$$

Rešenjem ove dve jednačine dobija se:

$$L_1 = 40\ 000 \text{ m}^3/\text{h},$$

$$L_2 = 9\ 640 \text{ m}^3/\text{h}$$

Količina toplote utrošene za mešanje svežeg i otpadnog vazduha kada svi uređaji rade iznosi:

$$Q_M = L_2 \cdot C_p \cdot \gamma (t_M - t_a)$$

$$Q_{max} = 9\ 640 \cdot 0,24 \cdot 1,2 (20 + 31) = 140\ 000 \text{ kcal/h} \quad (3)$$

Raspoloživa količina toplote za potrebe grejanja prostorija iznosi:

$$Q_g = 181\ 000 - 141\ 000 = 40\ 000 \text{ kcal/h}$$

Potrebna maksimalna snaga električnog grejača u slučaju kada nijedan uređaj nije uključen, iznosi:

$$N_{max} = 61\ 230 / 0,86 \approx 70,0 \text{ kW} \quad (-31^\circ\text{C})$$

U slučaju da svi uređaji rade, pri projektnoj spoljnoj temperaturi od -31°C , od električnog grejača se traži samo:

$$N = \frac{61\ 230 - 40\ 000}{0,86} = 24,6 \text{ kW}$$

Vremenski period od 8 do 12 časova i od 15 do 16 časova; spoljna projektna temperatura -31°C .

Iz jednačina (1), (2) i (3) dobija se:

$$Q_{max} = 60 \cdot 860 = 51\ 500 \text{ kcal/h}$$

$$L_{max} = 7\ 840 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$L_1 = 6\ 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$L_2 = 1\ 540 \text{ m}^3/\text{h}$$

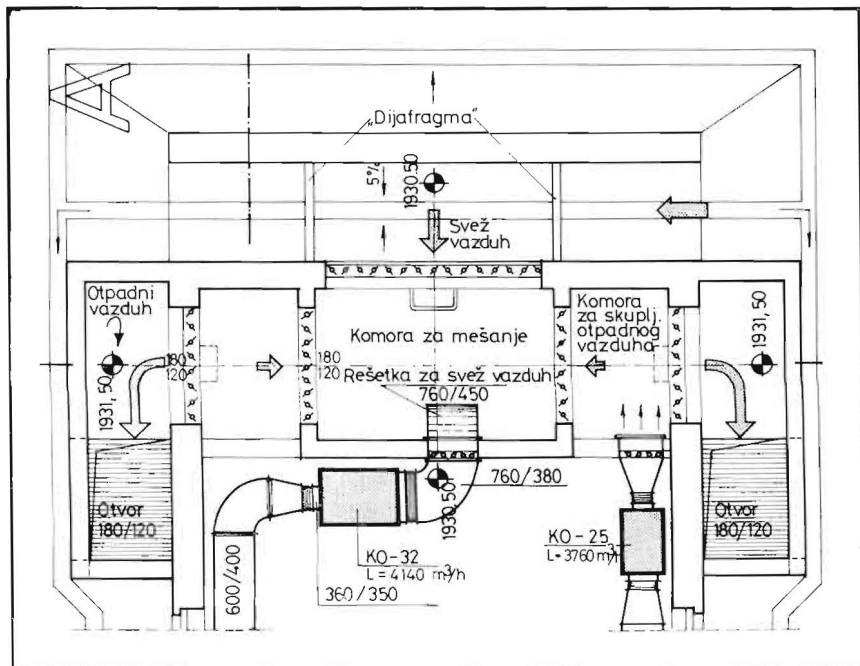
$$Q_M = 22\ 500 \text{ kcal/h}$$

$$Q_g = 29\ 000 \text{ kcal/h}$$

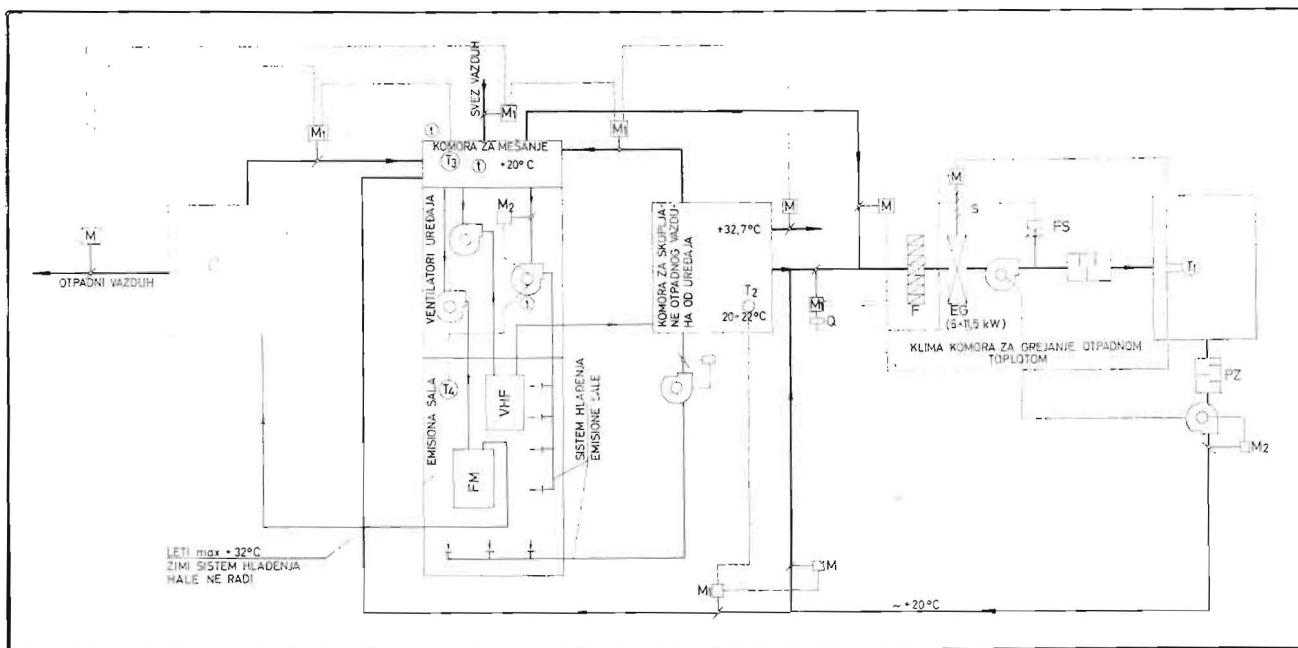
Potrebna snaga električnog grejača je:

$$N = 37,4 \text{ kW}$$

Sl. 4. Osnovni izgled komore za mešanje



Sl. 5. Principijelna šema delovanja i funkcionisanja sistema grejanja otpadnom toplotom, održavanja konstantne temperature mešanja i hlađenja u letnjem režimu rada; M, M_1 — elektromotor dempera za proporcionalnu regulaciju; M_2 — M 445 D elektromotor dempera za dvopoložajnu regulaciju; T_1 — sobni proporcionalni (dual) termostat; T_2, T_3 — kanalski proporcionalni termostat; T_4 — sobni dvopoložajni termostat; Q — graničnik; S — mehanički stepenasti regulator; FS — vazdušni protočni prekidač — zastavica; EG — električni grejač; t — sonda za indikaciju temperature; PZ — prigušivač zvuka.



Vremenski period od 16 do 19 i od 22 do 23 časa; spoljna projektna temperatura -31°C .

$$\begin{aligned} Q_{\max} &= 130 \cdot 860 = 111\,800 \text{ kcal/h} \\ L_{\max} &= 28\,240 \text{ m}^3/\text{h} \\ L_1 &= 22\,600 \text{ m}^3/\text{h} \\ L_2 &= 5\,640 \text{ m}^3/\text{h} \\ Q_M &= 83\,000 \text{ kcal/h} \\ Q_g &= 28\,800 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

Potrebna snaga električnog grejača je $N = 37,4 \text{ kW}$. Na osnovu izloženog, u mogućnosti smo da za ove vremenske periode i razne spoljne projektne temperature dobijemo raspoložive količine otpadne toplote u odnosu na potrebnu količinu toplote za grejanje, pri datoj spoljnoj temperaturi (v. sl. 6).

FUNKCIONISANJE SISTEMA GREJANJA OTPADNOM TOPLOTOM

Kao što je već rečeno, tipski električni grejač ugrađen u klima komoru za grejanje otpadnom toplotom sa stepenastim uključivanjem, ima ukupnu snagu od 69 kW ($5 \cdot 11,5 \text{ kW}$). On radi punim kapacitetom samo pri najnižoj spoljnoj (projektnoj) temperaturi od -31°C , kada su svi uređaji isključeni.

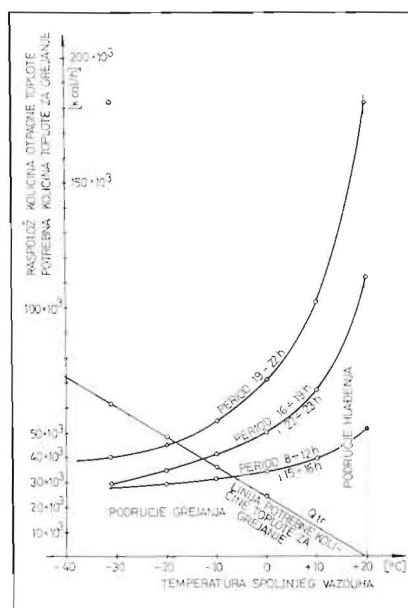
Temperatura u prostorijama reguliše se pomoću jednog dvostrukog (dual) sobnog proporcionalnog termostata T_1 (v. sl. 5) postavljenog u jednoj karakterističnoj prostoriji. Jedan stepen ovog termostata deluje direktno na proporcionalne motore dempera ugrađene na klima komori na filtarsko-mešnoj sekciji koja vezuje kanalske priključke komore za mešanje i otpadni vazduh. Ukoliko u sistemu ima dovoljno otpadne toplote za grejanje, uključen je samo prvi stepen termostata T_1 . Međutim, kada u sistemu nema dovoljno otpadne toplote i kada je demper na priključku za otpadni vazduh potpuno otvoren, na proporcionalnom motoru dempera M_1 (električna regulacija) ugrađen je jedan graničnik Q koji uključuje prvi stepen modutrol motora M ugrađenog na električnom stepenastom regulatoru električnog kanalskog grejača. Na ovaj modutrol (proporcionalni motor) sada deluje drugi stepen sobnog proporcionalnog termostata T_1 koji aktivira stepen po stepen električnog grejača.

Povratni vazduh iz sistema vazdušnog grejanja vraća se u zidanu komoru za mešanje, odakle se delom izbacuje napolje

preko komore za otpadni vazduh, a delom ponovo vraća u sistem.

Povratni vazduh iz sistema, u vreme kada svi uređaji rade i kada su delimično uključeni, vraća se sav u komoru za mešanje. Međutim, u kratkom vremenskom periodu, pri najnižim spoljnim temperaturama i kada su

Sl. 6. Grafički prikaz grejanja i hlađenja otpadnom toplotom u jednom konkretnom slučaju



svi uređaji isključeni, sistem će raditi samo sa optičajnim vazduhom. U tom slučaju se demper za otpadni vazduh zatvara, jer na njega deluje jedan sobni proporcionalni termostat T2 koji je postavljen na 20—22° C i to u zajedničkoj zidanoj komori za otpadni vazduh. U svim drugim slučajevima demper za otpadni vazduh biće otvoren, a za optičajni zatvoren.

TEHNIČKO-EKONOMSKI ASPEKT

Analizom dijagrama na sl. 6, videćemo da pravu Q_{tr} na tri mesta presecaju krive 19—22, 8—12, 15—16, 16—19 i 22—23 časa. Ovo se događa pri spoljnim temperaturama vazduha od —18 do —12,5 ° C i —6,5° C, što znači da pri svim višim spoljnim temperaturama od ovih, sistem se u potpunosti greje otpadnom toplotom. Ukupno vreme korišćenja otpadne energije iznosi 12 časova; ostalih 12 čas. radi električni grejač.

Ukoliko sistem ne bi koristio otpadnu toplotu, morali bi se ugraditi toplovodna kotlarnica odgovarajućeg kapaciteta, a kao gorivo bi se, s obzirom na ugrađeni DEA, koristilo lako lož ulje prema JUS-u.

U konkretnom slučaju kapacitet kotlarnice bi bio:

$$Q = 1,15 Q_{tr} = 1,15 \cdot 61\,230 \approx 70\,000 \text{ kcal/h}$$

Maksimalna potrošnja goriva u satima je:

$$B_r = \frac{Q}{\eta_k \cdot H_u} = \frac{70\,000}{0,85 \cdot 9\,650} = 8,5 \text{ kg/h}$$

Maksimalna dnevna potrošnja — neprekidno grejanje:

$$B_r = 8,5 \cdot 24 = 204 \text{ kg/h}$$

Kapacitet skladišne cisterne za period grejanja od 8 meseci iznosio bi (ukupna potrošnja goriva iznosila bi maksimalno):

$$B = \frac{24 \cdot Q_h \cdot G_t}{\Delta t_{max} \cdot H_u \cdot \eta} \text{ (kg)}$$

$$G_t = 240 (31+20) = 12\,200 \text{ broj stepen/dana}$$

$$B = \frac{24 \cdot 70\,000 \cdot 12\,200}{51 \cdot 9\,650 \cdot 0,85} \approx 50\,000 \text{ kg/god.}$$

S obzirom da se otpadna toplota koristi 12 sati dnevno, to je ukupna ušteda na gorivu:

$$B_u = 0,5 \cdot B = 0,5 \cdot 50\,000 = 25\,000 \text{ kg/god.}$$

Cena kompletne toplovodne kotlarnice, kapaciteta 70 000 kcal/h, ložene lož uljem iznosi približno:

$$150\,000 \text{ dinara}$$

Cena goriva koje treba transportovati do potrošača, u većini slučajeva na planinskom terenu, iznosi 3,5 dinara/litar.

Godišnja ušteda u gorivu iznosi:

$$25\,000 \cdot 3,5/0,88 \approx 100\,000 \text{ dinara}$$

Ukupna ušteda u gorivu i instalaciji iznosi dakle:

$$150\,000 + 100\,000 = 250\,000 \text{ d.}$$

Iz izloženog se lako može zaključiti da se ova instalacija apsolutno isplati.

Ako se uzme u obzir da ova instalacija treba da radi bar 10 godina, ukupna ušteda iznosi:

$$P = 150\,000 + 10 \cdot 100\,000 = 1\,150\,000 \text{ dinara.}$$

Ukupna cena instalacije vazdušnog grejanja otpadnom toplotom iznosi približno 450 000 dinara.

To znači da se instalacija grejanja otpadnom toplotom od uređaja TV i radio predajnika, u ovom slučaju isplati već posle 3,9 godine. Međutim, s obzirom da cena lož ulja rapidno raste, samtramo da će se ova instalacija isplatiti već nakon 3 godine. Pošto se ovde radi o jednoj manjoj instalaciji grejanja otpadnom toplotom, koja se isplaćuje već za oko 3 godine, kod većih instalacija grejanja otpadnom toplotom, kapaciteta nekoliko stotina hiljada kalorija na

čas, situacija je povoljnija i one se amortizuju već za oko 2 godine.

ZAKLJUČCI

Na korišćenju otpadne energije za grejanje u ovoj oblasti primene, koliko je nama poznato, do sada je vrlo malo u svetu rađeno, a kod nas gotovo ništa, tako da ovaj naš rad predstavlja jedan od prvih pokušaja da se jedan vid otpadne toplote iskoristi tzv. »vazdušnom metodom«, gde skoro nema gubitaka toplote u okolini. Pored toga, jasno se vidi ekonomska opravdanost predloženog tehničkog rešenja, gde se ulaganja u ovakve instalacije isplate već u roku od 2 do 3 godine.

Podaci koji se odnose na procentualnu potrošnju energije su približni, ali se u ovom slučaju sa sigurnošću može tvrditi da ukupna količina otpadne energije iznosi 85—90% od ukupno instalisane.

Ovim tehničkim rešenjem obezbeđeno je pored grejanja otpadnom toplotom, i vazdušno hlađenje, kao i zaštita instalacije od zamrzavanja, kada je zbog niske temperature vazduha za hlađenje često dolazilo do prskanja staklenih omotača uređaja.

Na kraju, napominjemo da smo jednim jednostavnim rešenjem omogućili ispravno i sigurno funkcionisanje uređaja, uz korišćenje otpadne toplote, povećavajući na taj način ekonomičnost rada postrojenja u najvećoj meri.

LITERATURA

- [1] *** *Aplications*, Guide of ASHRAE 1974
- [2] *** *ASHRAE Journal*, April 1974
- [3] RECKNAGLEL, SPRENGER, *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*, 1973