

POMPA DE CĂLDURĂ CU VAPORI DE APĂ – SOLUȚIE DE CREȘTERE A EFICIENȚEI SISTEMELOR ENERGETICE

SORIN DIMITRIU¹

Abstract. *The paper presents a possible solution for the increasing of the efficiency of the centralized heating systems. Romania possesses important geothermal resources. These may be utilised in conjunction with the classical hot water boilers heating systems. The paper presents a water vapour heat pump taking over warm water from the soil and growing up the temperature of the supplying water of the hot water boilers from a thermal plant. The performances of such solution are discussed.*

Keywords: *heat pump, geothermal heating system, water vapour turbo compressor*

1. Introducere.

În sectorul energetic din majoritatea statelor europene s-au produs transformări majore determinate de necesitatea creșterii siguranței în alimentarea cu energie a consumatorilor, iar în cadrul acestei cerințe, sursele regenerabile de energie oferă o soluție viabilă, inclusiv aceea de protecție a mediului înconjurător.

Necesitatea de asigurare a unei dezvoltări energetice durabile, concomitent cu realizarea unei protecții eficiente a mediului înconjurător a condus – în ultimii 10–15 ani – la intensificarea preocupărilor privind promovarea resurselor regenerabile de energie și a tehnologiilor industriale suport. Politica UE în acest domeniu, exprimată prin Carta Alba și Directiva

Europeana 2001/77/CE privind producerea de energie din surse regenerabile, prevede că, până în anul 2010, Uniunea Europeană lărgită va trebui să își asigure necesarul de energie în proporție de circa 12% prin valorificarea surselor regenerabile.

În acest context, în multe țări europene (Franța, Italia, Germania), posesoare de resurse geotermale similare cu cele ale României, preocupările s-au concretizat prin valorificarea acestor resurse pe plan local sau regional, prin conceperea și realizarea unor tehnologii eficiente și durabile, care au condus la o exploatare profitabilă, atât în partea de exploatare a resurselor (tehnologii de foraj și de extracție din sondele geotermale), cât și în instalațiile utilizatoare de la suprafață.

¹ Catedra de Termotehnică, Universitatea Politehnică București

2. Exploatarea resurselor geotermale în România [1], [2].

În România se află în prezent un parc de sonde cu un potențial de peste 320 MW numai pentru utilizări energetice (cca. 240 mii tone echivalent petrol/an), din care prin exploatarea a cca. 60 dintre ele se utilizează efectiv cca. 137 MW (peste 100

mii tep/an) la nivele de temperatură între 55 și 115 °C. Prospecțiunile geotermice au permis realizarea unei hărți pentru România (Figura 1), evidențiind distribuția temperaturii la adâncimi între 1 și 5 km. Se pot evidenția în special în zona de vest, arii de ape mezotermale, cu temperaturi cuprinse între 60 °C și 120 °C potrivite pentru producere de energie termică.

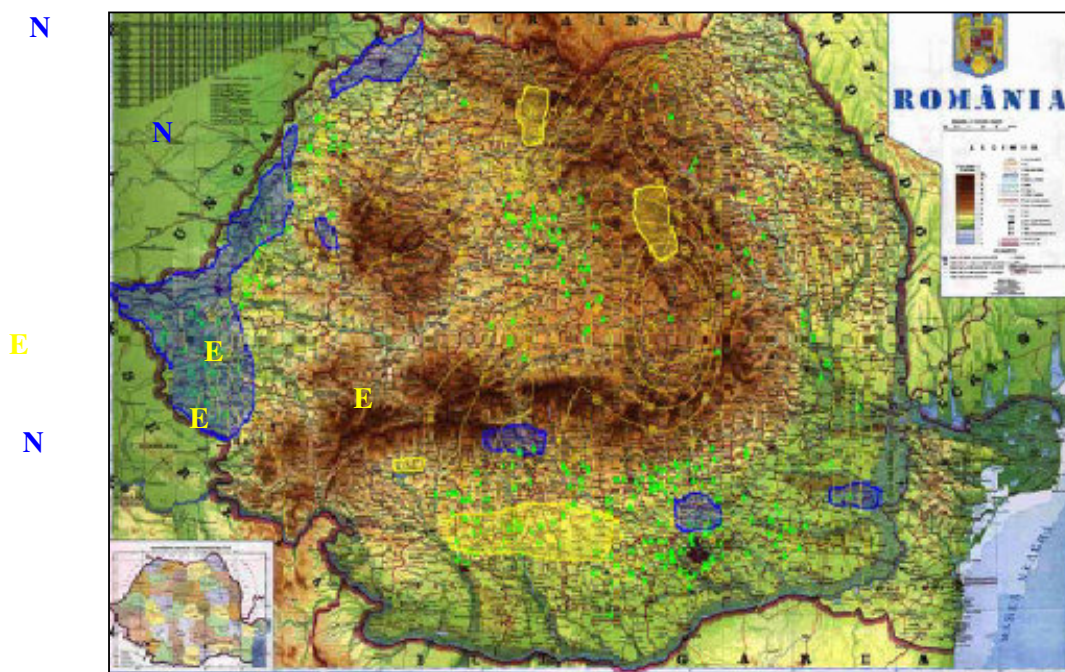


Fig. 1. Harta geotermală a României (sursa IGR 2006)
E-zone exploatate; N-zone neexploatate.

Și în zona de sud a țării (Călimănești – Căciulata, zona din nordul Bucureștiului și zona Brăila) există zăcăminte de ape termale de joasă entalpie, exploatare mai mult pentru în scopuri balneare. În București, primul foraj de specialitate a fost executat în 1982-1983, în zona Lacului Băneasa, studiile și analizele efectuate stabilind ca apele sunt termosulfuroase, cu o temperatură de 41 °C. La nord de București se întinde un lanț

de aproximativ 15 sonde cu adâncimi până la 3,3 km, cu ape asemănătoare, a căror temperatură crește pe măsura depărtării de capitală (în zona Balotești - Snagov, temperatura depășește 80 °C). În zona Brăilei se află un important zăcămint cu temperatura apei de 61° C la suprafață, zăcămint captat cu două sonde, de la 1km adâncime). O importantă pungă de ape termale, neexploatate încă, se găsește sub câmpia Olteniei.

La începutul anilor 80 s-a dezvoltat un program de cercetări la nivel național concretizat în crearea unei mini industrii de valorificare a energiei termale și la obținerea de economii de energie de peste 50 mii tep/an. La ora actuală, în afara unor utilizări locale, în condițiile utilizării unor tehnologii și echipamente vechi de cel puțin 20 de ani, singurele realizări notabile sunt cele ale firmei TRANSGEX – Oradea.

Această firmă deține 48 de foraje în județele Bihor și Satu Mare. La Oradea operează 11 sonde de producție care extrag apă de la adâncimi de cca. 3000 m cu temperatură de 72...105 °C și o sondă de injecție. Apa geotermală este utilizată pentru prepararea agentului termic prin intermediul unor schimbătoare de căldură



Fig. 2. Schimbătoare de căldură cu apă geotermală ale firmei TRANSGEX

(Figura 2). Timp de 20...25 zile pe an, la vârf de sarcină sunt folosite și cazane pe gaz.

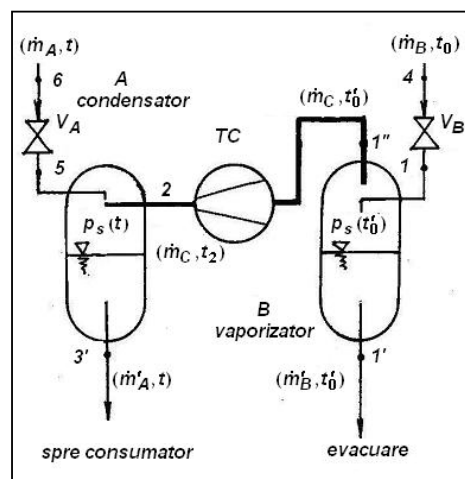
Potențialul sursei geotermale din Oradea este de 25...30 mii tep/an la un debit de 240 l/s. Aceiași firmă asigură din două sonde cu debitul de 120 l/s și temperatura de 120 °C întreg consumul de energie termică în orașul Beiuș.

3. Schema și principiul de funcționare a unei pompe de căldură cu apă [3].

În contextul prezentat anterior, lucrarea propune utilizarea unei pompe de căldură

care utilizează ca agent de lucru apa provenită chiar din sondă, pentru valorificarea în scopul producerii de energie termică a resurselor geotermale.

Schema de principiu este prezentată în figura 3. Apa folosită drept sursă de căldură, de proveniență geotermală, aflată la temperatura t_0 este introdusă prin ventilul de laminare V_B în recipientul vaporizator B . Prin laminare se reduce presiunea până la valoarea corespunzătoare presiunii de saturație la temperatura $t'_0 = t_0 - \Delta t_0$. Prin scăderea presiunii sub presiunea de saturație corespunzătoare temperaturii cu care intră apa în recipient, se produce o vaporizare parțială, faza de vapori fiind preluată de turbocompresor,



iar faza lichidă fiind evacuată în exterior.

Fig. 3. Schema de principiu

Vaporii comprimați aflați la temperatura t_2 sunt introduși. Împreună cu apa care trebuie încălzită, aflată la temperatura $t' = t - \Delta t$, în condensatorul de amestec A. În acesta vaporii condensează, iar apa din circuitul de utilizare se încălzește rezultând prin amestecare lichid la stare de saturație cu temperatura t cu care este trimisă la consumator. Astfel, o fracțiune

din apa de proveniență geotermală va fi vaporizată și amestecată cu apa din circuitul consumatorului de căldură, rezultând o încălzire a acesteia.

Se remarcă drept elemente caracteristice existența unui circuit deschis al agentului termic și existența schimbului de căldură prin amestec. Această din urmă

caracteristică, prin micșorarea diferențelor finite de temperatură, are o influență favorabilă atât asupra condițiilor de transfer de căldură cât și asupra performanțelor termodinamice ale ciclului, rezultând în final o economicitate foarte bună a instalației.

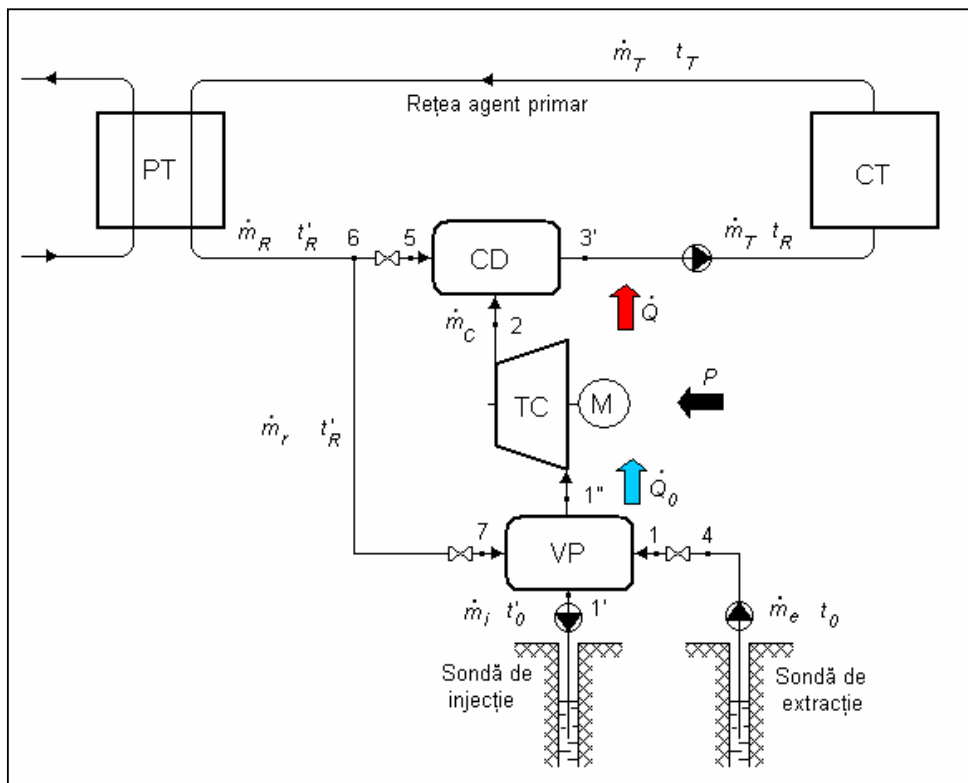


Fig. 4. Schema de implementare a pompei de căldură în sistemul de alimentare cu energie termică

4. Implementarea instalației într-o schemă de alimentare cu căldură

Lucrarea de față propune utilizarea unei astfel de pompe de căldură într-un sistem de termoficare (Figura 4).

Apa geotermală provenită din sonda de extracție se introduce în vaporizatorul pompei de căldură, folosind drept sursă de

căldură. În condensator se ridică temperatura apei din returul consumatorului cu 10...25 grade după care aceasta este introdusă în cazanele de apă fierbinte ale centralei termice. Presiunea de funcționare a vaporizatorului este determinată de temperatura apei termale,

iar presiunea de funcționare a condensatorului de temperatura la care este încălzită apa din returul consumatorului de căldură. Schimbătoarele de căldură din această instalație fiind schimbătoare de amestec, din returul consumatorului trebuie preluat un debit de apă egal cu debitul de vapori introdus de turbocompresor în condensator. Acest debit se introduce în vaporizator odată cu

apa geotermală, pentru recuperarea căldurii. În această ipoteză debitul de apă evacuat din vaporizator și reintrodus în sol este egal cu debitul de apă geotermală extras. Frațiunea lichidă din vaporizator este injectată în zăcămintul de apă termală, în aval de sonda de extracție, acviferul nefiind în felul acesta afectat.

Deoarece în circuit se introduce un debit

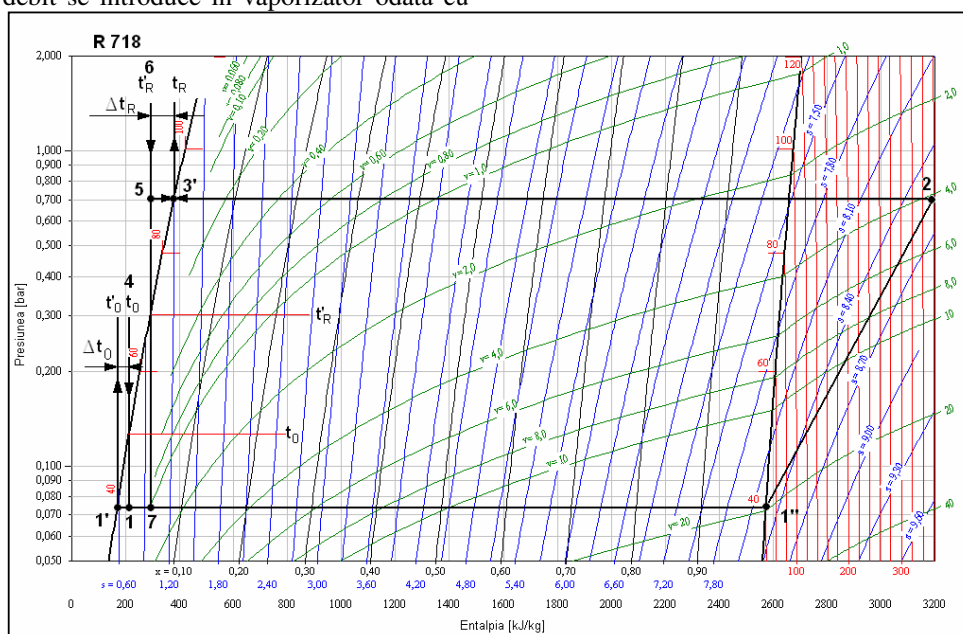


Fig. 5. Procesele de lucru din instalație

de apă, sub formă de vapori, lipsit de săruri, un astfel de sistem poate rezolva și problema apei de adaus necesară compensării pierderilor din rețea, stația de tratare ne mai fiind necesară. Dacă există pierderi de agent termic pe rețea, debitul compresorului trebuie să fie mai mare decât fracțiunea de debit preluată din retur, iar debitul de apă injectat în sol este mai mic, diferența fiind egală cu debitul necesar de apă de adaus.

5. Modelul matematic [4], [5].

Procesele de lucru din instalație sunt prezentate în diagrama $p-h$ din figura 5, în conformitate cu schema de principiu din figura 4.

Presiunea de funcționare a condensatorului este determinată de temperatura $t_R = t'_R + \Delta t_R$ până la care se dorește încălzirea apei cu temperatura t'_R corespunzătoare returului consumatorului:

$$p_c = p_s(t) \text{ [bar]} \quad (1)$$

Din ecuația de bilanț termic a aparatului, în ipoteza că prin amestecul vaporilor supraîncălziți (starea 2), cu apa din returul consumatorului (starea 5) se obține apă la saturație (starea 3'), rezultă debitul de vapori necesar pentru ridicarea temperaturii apei din retur cu Δt_R :

$$\dot{m}_c = \dot{m}_T \frac{h'_3 - h_5}{h_2 - h_5} \text{ [kg/s]} \quad (2)$$

S-a considerat că nu există pierderi pe rețea și ca urmare, debitul de agent corespunzător returului \dot{m}_R , este egal cu debitul de agent \dot{m}_T , pe turul rețelei.

Fluxul de căldură pe care îl asigură pompa de căldură pentru încălzirea cu Δt_R a debitului de agent \dot{m}_T din rețea este:

$$\dot{Q} = \dot{m}_T \cdot (h'_3 - h_5) \text{ [kW]} \quad (3)$$

în care $c = 4,185 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ este căldura specifică a apei.

Debitul de apă geotermală extras din zăcământ, cu temperatura t_0 , rezultă din ecuația de bilanț termic a vaporizatorului:

$$\dot{m}_{at} = \dot{m}_c \frac{h''_1 - h_1}{h_1 - h'_1} = \dot{m}_c \frac{1 - x_2}{x_2} \text{ [kg/s]} \quad (4)$$

în care x_2 este titlul vaporilor rezultați în vaporizator, ca urmare a laminării apei geotermale până la temperatura t'_0 .

Presiunea de funcționare a vaporizatorului este presiunea de saturație corespunzătoare acestei temperaturi:

$$p_v = p_s(t'_0) \text{ [bar]} \quad (5)$$

Puterea electrică necesară acționării turbocompresorului se exprimă prin relația:

$$P = \dot{m}_c (h_2 - h''_1) \text{ [kW]} \quad (6)$$

și rezultă coeficientul de performanță al instalației (eficiența pompei de căldură):

$$COP = \mu = \frac{\dot{Q}}{P} = \frac{h_2 - h_5}{h_2 - h''_1} \quad (7)$$

Sarcina termică a centralei se exprimă:

$$\dot{Q}_{CT} = \dot{m}_T \cdot (h_T - h_5) \text{ [kW]} \quad (8)$$

în care h_T este entalpia agentului termic cu temperatura t_T care pleacă spre consumatorul de căldură. Ca urmare, consumul de energie termică al cazanelor de apă fierbinte din centrală va fi:

$$\dot{Q}_{CAF} = \frac{1}{\eta_{CAF}} (\dot{Q}_{CT} - \dot{Q}) \text{ [kW]} \quad (9)$$

în care η_{CAF} este randamentul termic al cazanelor cu care este echipată centrala termică.

Eficiența termică a centralei în care s-a implementat pompa de căldură se exprimă:

$$COP_{CT} = \frac{\dot{Q}_{CT}}{P + \dot{Q}_{CAF}} \quad (10)$$

expresia fiind supraunitară.

6. Studiu de caz

Schema de implementare și studiul de caz se referă la Centrala Termică de Zonă (CTZ) „Casa Presei Libere” aparținând de RADET București. Aceasta centrală termică este situată chiar în zona de unde începe zăcământul de apă termală de lângă București.

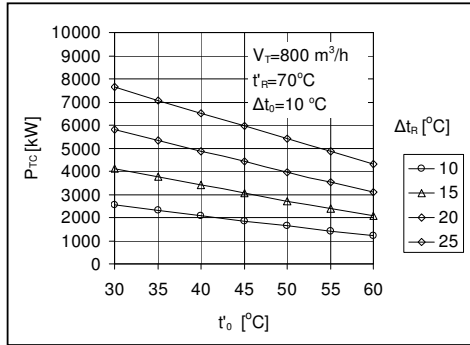


Fig. 6. Puterea turbocompresorului

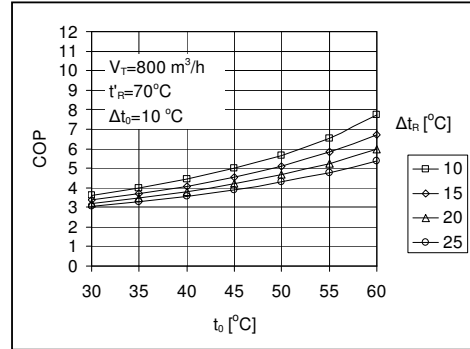


Fig. 9. COP pentru pompa de căldură

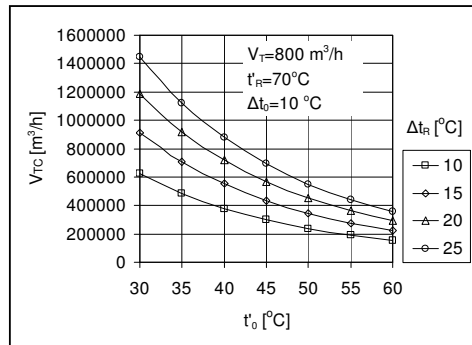


Fig. 7. Debitul turbocompresorului

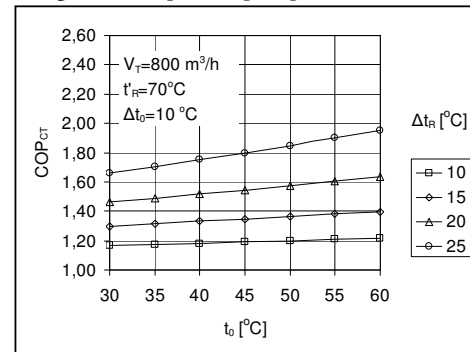


Fig.10. COP pentru centrala termică.

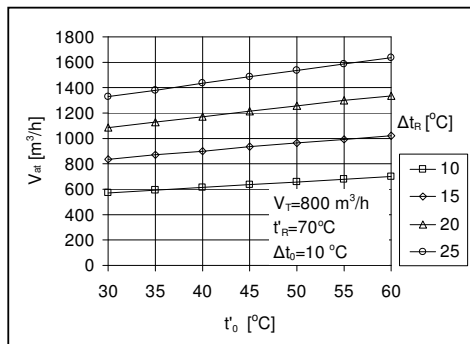


Fig. 8. Debitul de apă geotermală

S-au considerat următorii parametri de exploatare:

- debitul de agent: $\dot{V}_T = 800 \text{ m}^3/\text{h}$;

- temperatura pe tur: $t_T = 110 \text{ }^\circ\text{C}$;

- temperatura pe retur: $t'_R = 70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pentru pompa de căldură s-a considerat o scădere a temperaturii apei la vaporizator $\Delta t_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, iar creșterea temperaturii la condensator a fost considerată în limitele $\Delta t_R = 10...25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Proprietățile termodinamice ale apei și aburului au fost determinate analitic, pe baza ecuațiilor IAPWS – IF 1997 [6].

Rezultatele obținute pentru modelul matematic al instalației cu ajutorul unui program de calcul scris în MATHCAD sunt prezentate în figurile 6...10.

7. Concluzii.

În sistemele de alimentare cu căldură, pompa de căldură cu vapori de apă

utilizând ape geotermale poate reprezenta o soluție foarte economică. Se poate observa că pentru ape geotermale cu temperatura 30...60 °C, eficiența instalației este foarte mare, fiind cuprinsă între 3 și 8.

Un alt avantaj important este constituit de faptul că agentul de lucru este apa și ca urmare, o astfel de instalație poate fi considerată total ecologică.

Gabaritul instalației este determinat de mărimea agregatului turbocompresor. Acesta este funcție de debitul volumic de vapori vehiculat de compresor, care este cu atât mai mare cu cât temperatura la care funcționează vaporizatorul este mai coborâtă. Ca urmare, dacă se urmărește păstrarea gabaritului instalației în limite acceptabile, ținând cont că la ora actuală există realizate turbocompressoare pentru vapori de apă, cu rotorul din titan sau materiale composite, având debitul de 200000...400000 m³/h, se pot stabili zonele favorabile utilizării instalației. În domeniul temperaturilor mici de vaporizare, 30...40 °C, zona favorabilă este aceea a sarcinilor termice de 5...10 MW, iar în domeniul temperaturilor mai mari de vaporizare, 50...60 °C, zona favorabilă corespunde sarcinilor termice de 20...25 MW.

Realizările recente pe plan mondial în ceea ce privește materialele utilizate și construcția turbocompressoarelor [7], [8], [9], permit realizarea unor astfel de instalații care în condiții de producție pe scară mare, permit reducerea considerabilă a costurilor de investiții.

Eficiența centralei crește, în funcție de aportul pompei de căldură, până la 2 în condițiile în care temperatura agentului primar este de 110 °C. Dacă în perioadele cu temperatură exterioară mai ridicată temperatura agentului primar se reduce, eficiența are valori mai ridicate, ceea ce pune în evidență posibilitatea obținerii unor importante economii de combustibil.

În baza acestor considerente, instalația prezentată apare ca o posibilă soluție de creștere a eficienței pentru sistemele de termoficare urbană, acolo unde există ape termale sau surse de apă caldă deșeu.

Bibliografie.

1. Turcu, I.: *Studiu privind evaluarea potențialului energetic actual al surselor regenerabile de energie din România (solar, vânt, biomasă, microhidro, geotermie), identificarea celor mai bune locații pentru dezvoltarea investițiilor în producerea de energie electrică neconvențională.* In: Raport de cerc., București, ICEMENERG S.A. 2006
2. Radenco, Vs., Dimitriu, S., ș.a.: *Cercetări privind schemele și echipamentele necesare instalațiilor de pompe termice necesare pentru valorificarea resurselor geotermale din România.* In: Raport de cerc. UPB nr. 115. 1973.
3. Radenco, Vs., Dimitriu, S., ș.a.: *Instalații de pompe de căldură.* București. Editura Tehnică. 1985.
4. Dimitriu, S.: *Posibilități de valorificare a resurselor geotermale cu ajutorul unei pompe de căldură cu vapori de apă.* In: CD a XV-a Conf. Int. de Termotehnică, 26-28 mai, Craiova. 2005.
5. Dimitriu, S.: *Pompa de căldură cu apă – o posibilă soluție pentru valorificarea resurselor geotermale.* In: CD a XV-a Conf. CECEPM, 26-27 nov, UTCB, Fac. Instalații, București. 2008.
6. Wagner, W.: *The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam.* In: ASME J. Eng. Gas Turbines and Power, Vol. 122 (2000), pp.150-182.
7. Kilicarsen, A., Müller, N.: *COPs of R718 în Comparation with Other Modern Refrigerants.* In: Proceed. of the 1-th Cappadocia Int. Mech. Eng. Symp., 14-16 July, Cappadocia, Turkey., 2004, pp. 317-323.
8. Müller, N.: *Design of Compressor Impellers for Water as a Refrigerant.* In: ASHRE Transaction, Vol 107, pp. 214-222.
9. Müller, N.: *Turbo Chillers using Water as Refrigerant.* In: ASME Process Industry Division PID Newsletter, Fall 2002, pp. 3.